

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh nádrže kapalných uhlovodíků s vytápěním

Proposal for a Tank of Liquid Hydrocarbons Including Heating

Student:

Bc. Marek Zeman

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Zeman**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení  
Téma: **Návrh nádrže kapalných uhlovodíků s vytápěním**  
**Proposal for a Tank of Liquid Hydrocarbons Including Heating**

### Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekční návrh nádrže kapalných uhlovodíků, navrhnete jeho izolaci s ohledem na minimální tepelné ztráty. Ohřev nádrže řešte trubkovými hady s nuceným nebo přirozeným oběhem vody s deskovým mezivýměňíkem. Vypočtete přestup tepla z vody uvnitř trubek do nádrže, stanovte základní rozměry topných hadů. Vyřešte tepelnou bilanci nádrže a navrhnete její optimální tvar. Denně se doplňuje do nádrže 250 m<sup>3</sup> uhlovodíků o teplotě 50oC. Z výsledků určete optimální konfiguraci topných hadů. Teplota topné vody 110/80 oC, teplota uhlovodíků 75oC, rozměry nádrže průměr 20 m, objem uhlovodíků 2800 m<sup>3</sup>.

### Seznam doporučené odborné literatury:


Rédr, M., Příhoda, M.: Základy tepelné techniky. Praha. SNTL, 1991. ISBN 80-03-00366-0  
Sadik, K.: Boilers, evaporators, condensers. John Wiley. USA. New York 1991. CIP 90-22486 v knihovně VŠB.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.**

Datum zadání: 13.12.2014  
Datum odevzdání: 18.05.2015



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry

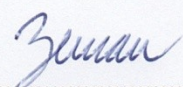
  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....15.5.2015


.....  
podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....15.5.2015.....

.....  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Marek Zeman

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nálepkovo nám. 930/18

708 00 Ostrava - Poruba



## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZEMAN, M. *Návrh nádrže kapalných uhlovodíků s vytápěním : diplomová práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2015, 62 s. Vedoucí práce: Kolat, P.

Diplomová práce se zabývá návrhem nádrže kapalných uhlovodíků, návrhu izolace s ohledem na minimální tepelné ztráty. Nádrž kapalných uhlovodíků je řešena trubkovými hady s nuceným a přirozeným oběhem vody s deskovým výměníkem tepla. V teoretické části jsou nejprve vysvětleny základní typy skladování tekutin a zhodnocení ekologických aspektů. Dále jsou popsány druhy nádrží kapalných uhlovodíků, včetně skladby jednotlivých částí. Nakonec jsem rozebral druhy tepelných výměníků a princip měření výšky hladiny. Praktická část se zabývá návrhovými výpočty nádrže kapalných uhlovodíků a jeho izolaci. Následně řeším deskový výměník tepla s nuceným a přirozeným oběhem vody, kombinovaný přestup tepla z vody do kapalných uhlovodíků a rozměry topných hadů.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

ZEMAN, M. *Proposal for a Tank of Liquid Hydrocarbons Including Heating : Master Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2015, 62 p. Thesis head: Kolat, P.

Master thesis deals with a design of a tank for storing liquid hydrocarbons and design of its insulation with respect to minimal heat dissipation. The tank is realized by a coiled pipe with forced and spontaneous water circulation with a plate heat exchanger. The theoretical part concerns with basic types of storage and evaluation of ecological aspects. This is followed by a description of different types of hydrocarbon tanks including the composition of their components and an analysis of heat exchangers and principals of water level measurement. The practical part deals with design calculations of the tank and its insulation. The composition of plate heat exchanger with forced and spontaneous water circulation, a combined water-to-liquid-hydrocarbons heat exchange and proportions of coiled pipes.

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc., který mě svými radami, připomínkami a praktickými zkušenostmi vedl při vypracování diplomové práce.

## OBSAH

1. ÚVOD .....	10
2. Nádrže .....	11
2.1 Skladování kapalin bez tlaku .....	11
2.2 Skladování kapalin pod tlakem .....	11
2.3 Skladování velkých objemů pod tlakem .....	11
2.4 Velká kvanta kapalin ve zděných objektech .....	12
2.5 Ekologické aspekty .....	12
2.6 Druhy nádrží podle tvaru a skladovaných médií .....	13
2.6.1 Vertikální .....	13
2.6.2 Kulové nádrže .....	23
2.6.3 Speciální nádrže .....	24
3. Výpočet nádrže .....	28
3.1 Výpočet součinitele prostupu tepla .....	28
3.1.1 Určující teploty .....	28
3.1.2 Výpočet Reynoldsova čísla .....	29
3.1.3 Výpočet Nusseltova kritéria .....	29
3.1.4 Výpočet součinitele přestupu tepla .....	30
3.1.5 Výpočet Grashoffova kritéria .....	31
3.1.6 Střední logaritmický teplotní spád .....	32
3.1.7 Součinitel prostupu tepla .....	32
3.2 Měrné tepelné toky a teploty stěn .....	33
3.2.1 Měrný tepelný tok .....	33
3.2.2 Teploty stěn .....	33
4. Druhé přiblížení .....	34
4.1 Výpočet součinitele přestupu tepla II .....	34
4.1.1 Výpočet Nusseltova kritéria II .....	34
4.1.2 Součinitel přestupu tepla II .....	35

4.1.3	Výpočet Grashoffova kritéria II.....	36
4.1.4	Součinitel prostupu tepla II.....	36
4.2	Určení tepelných ztrát, výkonů sekcí a výšky hladiny .....	37
4.2.1	Měrný tepelný tok II .....	37
4.2.2	Teploty stěn II.....	37
4.2.3	Tepelný výkon sekce II.....	37
4.2.4	Výška hladiny .....	38
4.3	Návrh izolace .....	38
4.3.1	Tepelná vodivost.....	38
4.3.2	Měrný tepelný tok.....	38
4.3.3	Výpočet tloušťky izolace .....	38
4.4	Výpočet ploch a obsahů nádrže a jejich tepelných ztrát.....	39
4.4.1	Plocha podlahy Spod a její tepelná ztráta Qpod .....	39
4.4.2	Obsah pláště Spl a jeho tepelná ztráta Qpl .....	40
4.4.3	Plocha střechy S <sub>str</sub> a její tepelná ztráta Q <sub>str</sub> .....	40
4.4.4	Tepelná ztráta nádrže kapalných uhlovodíků .....	40
4.5	Teplo na ohřev 250 m <sup>3</sup> kapalných uhlovodíků denně a celkový výkon pro nádrž kapalných uhlovodíků.....	41
4.5.1	Hmotnostní tok oleje a potřebné množství tepla na ohřev oleje.....	41
4.5.2	Celkový výkon nádrže kapalných uhlovodíků.....	41
4.5.3	Počet sekcí .....	41
4.6	Množství vody a množství páry.....	42
4.6.1	Množství vody .....	42
4.6.2	Množství páry .....	42
5.	Výměníky tepla.....	42
5.1	Rozdělení podle konstrukce.....	42
5.1.1	Trubkové (kotlové) výměníky tepla .....	42
5.1.2	Výměníky typu trubka v trubce .....	43
5.1.3	Deskové výměníky tepla.....	43
6.	Výpočet deskových výměníků tepla .....	46
6.1	Sdílení tepla .....	46



6.1.1	Sdílení tepla vedením.....	47
6.1.2	Sdílení tepla prouděním .....	47
6.1.3	Sdílení tepla zářením .....	48
6.2	Tepelný výpočet.....	48
6.3	Hydraulický výpočet.....	50
7.	Deskový výměník tepla .....	52
8.	Trubkový výměník tepla .....	53
8.1	Nusseltovo kritérium.....	53
8.1.1	Reynoldsovo číslo.....	53
8.1.2	Prandtlovo číslo .....	54
8.2	Korekční faktory .....	55
8.2.1	Zohlednění změn látkových vlastností v mezní vrstvě $y_1$ .....	55
8.2.2	Převod součinitele přestupu tepla z řady na svazek trubek $y_2$ .....	55
8.2.3	Součinitel zahrnující vliv proudění $y_3$ .....	55
8.3	Součinitel přestupu tepla trubkového výměníku .....	56
9.	Měření výšky hladiny .....	57
9.1	Princip měření.....	57
10.	Závěr .....	59
11.	Seznam použité literatury .....	60
12.	Přílohy.....	62

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

$c_p$	[kJ/kg.K]	měrná tepelná kapacita za stálého tlaku
$d$	[m]	průměr potrubí
$D_n$	[m]	průměr nádrže
$Gr$	[l]	Grashoffovo kritérium
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	gravitační zrychlení
$h$	[m]	výška
$i$	[kJ/kg]	entalpie
$k$	[W/m <sup>2</sup> .K]	součinitel prostupu tepla
$l$	[m]	délka
$p$	[Pa]	tlak
$Pr$	[l]	Prandtlovo kritérium
$\Delta p_z$	[Pa]	tlaková ztráta
$q$	[W/m]	měrný tepelný tok
$Q_m$	[kg/s]	hmotnostní tok
$Re$	[l]	Reynoldsovo kritérium
$Nu$	[l]	Nusseltovo kritérium
$S$	[m <sup>2</sup> ]	plocha
$t$	[°C]	teplota
$\Delta t$	[°C]	střední logaritmický teplotní spád
$W$	[m/s]	rychlost
$\alpha$	[W/m <sup>2</sup> .K]	součinitel přestupu tepla
$\gamma$	[N.s/m <sup>2</sup> ]	dynamická viskozita
$\psi$	[m <sup>2</sup> /s]	proudová funkce
$\lambda$	[W/m.K]	tepelná vodivost
$\nu$	[m <sup>2</sup> /s]	kinematická viskozita
$\rho$	[kg/m]	hustota

Ostatní označení je posáno dále v textu.

## 1. ÚVOD

Úkolem této diplomové práce je vypracování návrhu uskladňovací nádrže kapalných uhlovodíků, dle obdrženého zadání. Jedná se o uskladňovací nádrž o objemu  $2\,800\text{ m}^3$ , teploty kapalných uhlovodíků  $75^\circ\text{C}$  a teploty topné vody  $110 / 80\text{ }^\circ\text{C}$ . Přičemž denní doplňování kapaliny do nádrže dosahuje objemu  $250\text{ m}^3$  o teplotě  $50\text{ }^\circ\text{C}$ .

Uskladňovací nádrže jsou důležitou součástí průmyslu a energetiky. Úkolem těchto nádrží je skladování nebo také zásobárna produktů, meziproduktů a surovin. Jsou součástí elektráren a různých průmyslových závodů. V elektrárnách bývá skladovacím médiem voda parního okruhu či chladicí voda. Využití však mají téměř v každém průmyslovém odvětví. Uplatnění nachází v petrolejářském průmyslu, potravinovém průmyslu (skladování piva, vína, cukru), při skladování olejů, zkapalněných plynů, čpavku, radioaktivního odpadu atp. Velice důležitou úlohu hrají při skladování pohonných hmot. Česká republika má vlastní zásoby ropy na 90 dní umístěných poblíž Kralup nad Vltavou. Jelikož skladovaná média bývají často možným zdrojem kontaminace svého okolí, je nutno tato zařízení podrobovat kontrolám těsností, pláště a spoustě dalších bezpečnostních opatření. Při realizaci výstavby a provozu se dbá maximální bezpečnosti, proto bychom se měli držet při realizaci platných norem České republiky. Primárním aspektem se tedy stává ochrana životního prostředí. Ke kterému mají dále přispívat ochranné jímky, pojistné ventily atd.



## **2. NÁDRŽE**

Skladování velkého objemu kapalin a plynů je problematika nabývající stále většího významu. Tento problém se netýká pouze skladování velkého objemu surovin či produktů petrolejářského průmyslu, ale jedná se také o zkapalněné plyny, tekuté hnojiva, kapalné radioaktivní odpady a kyseliny. Velkoobjemové nádrže se staví také v potravinářském průmyslu za účelem skladování piva a vína.

### **2.1 Skladování kapalin bez tlaku**

Preferujeme stavby výrobně jednodušší. Převážně vertikální válcové nádrže, které lze postavit do objemu 100 000 [m<sup>3</sup>]. Jejich počet umožňuje využívat během výstavby již ověřené montážní způsoby.

### **2.2 Skladování kapalin pod tlakem**

U takovýchto nádrží se snažíme docílit co nejmenšího povrchu pláště, jehož tvar umožňuje „konstantní“ napjatost celého pláště. Z čehož plyne i minimální spotřeba materiálu vykoupěna pracností výstavby a výrobních nákladů. Těmto kritériím vyhovují nádrže kulového či kapkovitého tvaru

### **2.3 Skladování velkých objemů pod tlakem**

Nejekonomičtější variantou jsou kulové nádrže, které jsou schopny pojmout 50 000 [m<sup>3</sup>]. Těmto nádržím dnes dominují kulové tlakové plynojemy.

Ke skladování velkých objemů zkapalněného plynu používáme dvouplášťové izolované nádrže, nejčastěji vertikálních tvarů (válcové). Další variantou je kombinace kulové nádrže uložené do větší válcové nádrže.

## 2.4 Velká kvanta kapalin ve zděných objektech

Používají se především v jaderných elektrárnách. Skladování musí být v hranatých nádržích. Z tohoto důvodu se konstruuje speciální mnohaválcové nádrže, které mají stěny složeny z válcových panelů a jsou uloženy do rámové kostry. U takovéto konstrukce je samozřejmě poněkud větší spotřeba materiálu, než-li u válcové, či kulové nádrže. Ovšem je ekonomicky méně náročná, než nádrž hranatá s deskovými stěnami.

Další speciální skupinu těchto velkoobjemových nádrží tvoří nadzemní vodojemy. Avšak nabývají podstatně menších objemů, než předchozí jmenované druhy nádrží. Staví se nejčastěji o objemech do 200 [m<sup>3</sup>]. Při návrzích speciálních tvarů se používají až do rozměrů 15 000 [m<sup>3</sup>]. Tyto tvary jsou vždy rotační – složené z elipsoidů, anuloidů nebo kuželových ploch a umístěny na sloupech. Jde především o vodojemy. Jedná se o kusové zakázky typického charakteru, přičemž nejvýhodnější tvary vznikají díky spolupráci architektů se statiky.

## 2.5 Ekologické aspekty

Z ekologického hlediska jsou všechny velkoobjemové nádrže obsahující chemické látky (především pak ropné produkty) do jisté míry nebezpečné. Znečištění půdy nebo spodních vod nemusí být způsobeno hned havárií, ale stačí případná netěsnost, která ono znečištění může zapříčinit. Nejbezpečnější nádrže, co do ekologického charakteru, představují nádrže kulového tvaru. Jejich největší výhodou je, že případný únik kapaliny je snadno detekovatelný, právě díky kulatému tvaru, jež má celý povrch přístupný ke kontrole.

Horší situace je ovšem tehdy, má-li nádrž dno uloženo na základech. Zdárným příkladem takovéto situace je vertikální nádrž s plovoucí střechou. U takového typu nádrží, je možno dojít k úniku par (do ovzduší) skladované látky právě přes plovoucí střechu. Kdy ona plovoucí střecha dostatečně neplní těsnící funkci. Dalším možným únikem, může být únik skladované látky pod základ nádrže do půdy. Tyto úniky přes dno do půdy, jsou zvláště nebezpečné.

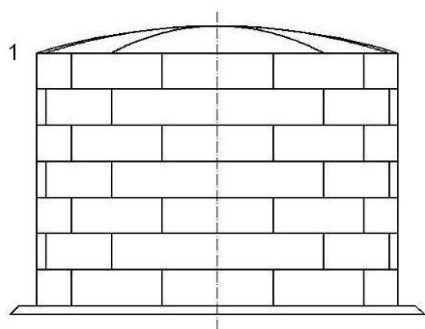
## 2.6 Druhy nádrží podle tvaru a skladovaných médií

### 2.6.1 Vertikální

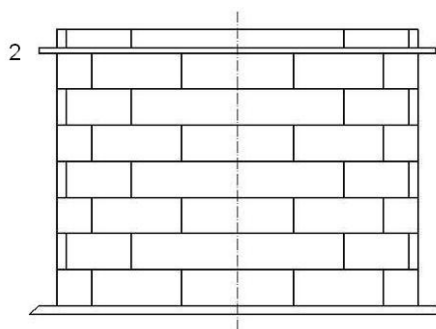
Vertikální válcové nádrže jsou stavěny pro uskladňování kapalin bez tlaku, za předpokladu, že provozní zatížení bude pouze hydrostatickým tlakem skladované kapaliny. Během napuštění či vypuštění nádrže, dochází k přetlaku či podtlaku v důsledku nasávání vzduchu nebo jeho výfuku. Velikost přetlaku ovlivňuje nastavení pojistných ventilů. Menší a střední nádrže jsou typizované. Rozměry tedy ovlivňuje požadovaný uskladňovací objem. Na nestabilním podloží, jako jsou záplavové či přímořské oblasti, kdy je do značné míry snížena únosnost půdy, stavíme nádrže větších průměrů a menších výšek. Zpravidla se jedná o naplaveniny a šterkové půdy.[1]

Objemy vertikálních nádrží stavíme obecně od 20 m<sup>3</sup> do 50 000 m<sup>3</sup>, průměry jsou od 3,5 m do 90 m, výšky v rozmezí 4 až 23 m [2]. U nás jsou vystavěny nádrže i větších rozměrů a kapacit. Např. nádrže Centrálního tankoviště ropy v Kralupech nad Vltavou jsou ty největší o objemu 125 000 m<sup>3</sup>. Dosahují výšky 25 m a průměru 85 m. Výrobní a stavební limity jsou stále se posouvající, díky modernějším technologiím válcování plechů. Modernizace při válcování plechů zaručují dokonalejší proválcování plechů větších průměrů. Díky tomu je možno vyrábět nádrže větších výšek i průměrů.

Stavba těchto nádrží je obvykle ve dvou provedeních – s pevnou střechou nebo se střechou plovoucí, viz obr. 2.1. Výběr střechy je závislý na skladovaném médiu. Výběr pevné střechy volíme při skladování netěkavých kapalin, potravinových produktů nebo těžkých olejových produktů. Naopak plovoucí střechu je třeba zvolit při ukládání těkavých kapalin a ropy. Jejich nevýhodou však je malý parní prostor. A mezi výhody můžeme řadit kupříkladu lepší protipožární ochranu a nižší ztráty odparem. Avšak ani tyto pravidla nemusejí být dodržovány, pokud by mělo dojít ke snižování kvality produktů [1].



Obr. 2.1: Nádrž - pevná střecha



Obr. 2.2: Nádrž - plovoucí střecha



U uskladňovacích nádrží se můžou vyskytovat různé druhy namáhání uvedené v tabulce. Při statickém výpočtu (během návrhu nádrže) jsou uvažovány pouze body 1 až 4 (5). Havarijní stavy posuzující se dodatečně, jsou označeny body 6 až 9 druhu zatížení [2].

*Tab. 2.1: Druhy zatížení s místy projevení [2].*

	Druh zatížení	Nádrž s pevnou střechou působí na	Nádrž s plovoucí střechou působí na
1	Hydrostatický tlak	Plášť	plášť
2	Přetlak / Podtlak	Plášť i střechu	-
3	Tíha sněhu	Střechu	-
4	Tlak větru	Plášť i střechu	plášť
5	Seismicita	Převážně plášť	plášť
6	Plnění nádrže do střechy	Plášť i střechu	-
7	Sedání základů	Plášť i střechu	plášť
8	Vznik nedovoleného přetlaku nebo podtlaku	Plášť i střechu	-
9	Obetonování nádrže	Plášť i střechu	-

### 2.6.1.1 Základy nádrže

Na vlastních základech, které musí odpovídat řadě požadavků sloužících ke zvýšení provozní spolehlivosti, je uložena celá konstrukce nádrže. Zároveň je kladen důraz k dostatečné tuhosti základů a ochrana dna nádrže proti zemní vlhkosti.

Rozlišujeme 3 základní typy základů [1].:

- prosté základy bez betonové výztuže
- základy s armovanou betonovou výztuží
- základy pro atypická podloží

#### **Základy bez betonové výztuže**

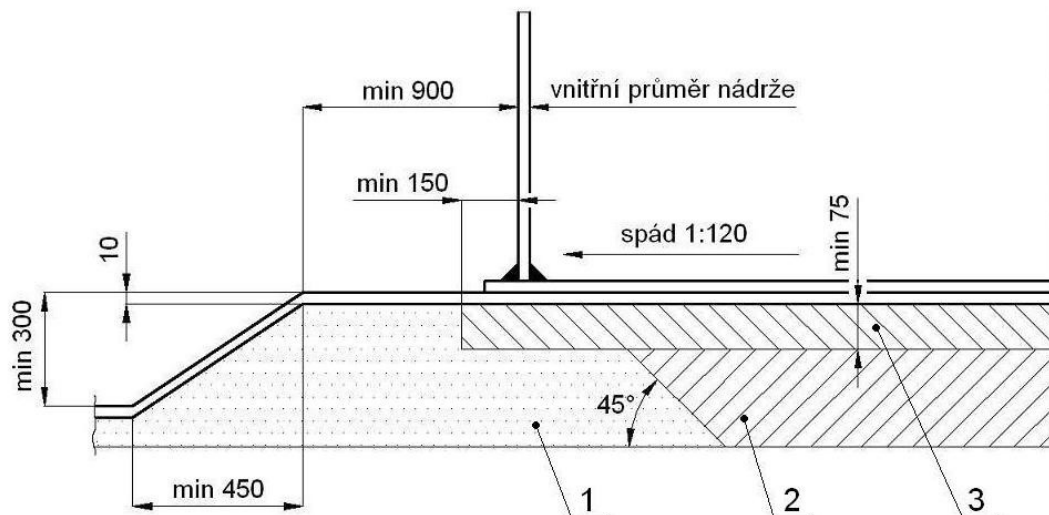
Výška základů musí mít minimálně 300 mm, aby bylo zabezpečeno suché dno, čili snadné odtékání případné srážkové vody. Musíme brát také zřetel na sedání nádrže u zkoušky těsnosti, která se provádí vodou a vlastní sedání nádrže během provozu. [1].

Složení základů (Obr. 2.3):

1 – hrubý uválcovaný štěrk

2 – udusaný štěrk

3 – hrubý písek, popřípadě směs písku a štěrku



Obr. 2.3: Základ bez betonové výztuže [1]

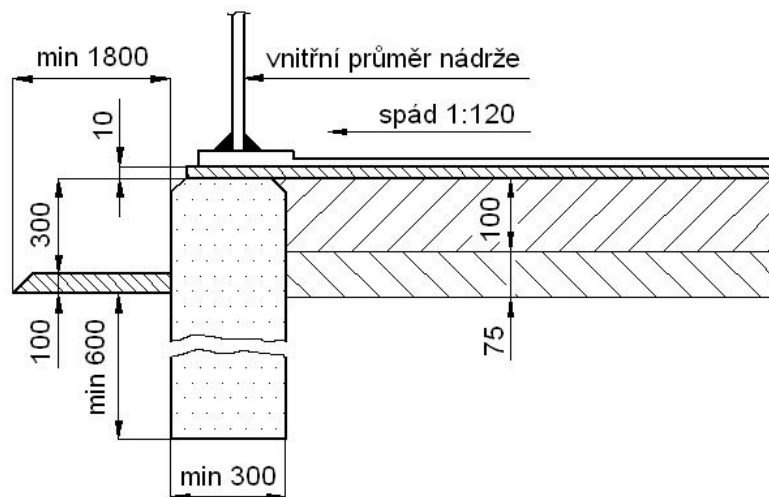
Základ musíme stabilizovat proti pronikání zemní vlhkosti olejováním, asfaltem či jiným způsobem. Tuto ochrannou vrstvu je nutno dále chránit 10 mm vrstvou písku. Také zešikmenou část musíme pokrýt asfaltem, aby nedocházelo k zatékání srážkové vody pod základy.

### **Základy s armovanou betonovou výztuží**

Budují se při předpokladu nerovnoměrného sedání nádrže, či pokud hrozí poškození základu. Především na místech ohrožených seismicitou, poddolovaném území nebo na podloží „plastické či bahnité hlíny“, které se nemusí nacházet jen na povrchu, ale i pod povrchem [1].

Hlavní stavební jednotkou je betonový armovaný prstenec, který zajišťuje únosnost a stabilitu při nepříznivých geologických podmínkách staveniště a zajišťuje rovnoměrné rozložení působení od pláště. Další jeho funkcí je zajištění proti usmyknutí okraje podloží pod nádrží a v neposlední řadě zabránění při pronikání zemní vlhkosti.

Skladba takového základu: uvnitř vrstva štěrku, na ni hrubý písek a zakončeno izolací (obdobně jako prostý základ). Znázornění základů je na obrázku 2.4.



Obr. 2.4: Základ obsahující armovanou betonovou výztuž [1]

### Základ atypického podloží

Tento druh základu je technicky a finančně nejnáročnější. Využívá se při zakládání na neúnosné půdě. Zde dochází během zatížení ke konsolidaci půdy, díky vytlačované vodě z této půdy. Postup budování základu – založení násypu písku do výše 3 m, na něj umístěna nádrž (dno z fólie), která se naplní vodou a začne konsolidace, jež zapříčiní sedání násypu a podloží. Po ustálení procesu nadzvedneme nádrž a vyplníme nerovnosti násypem novým, čímž vyrovnáme povrch do roviny. Po uvalcování zaizolujeme a vrátíme nádrž s plechovým dnem [1].

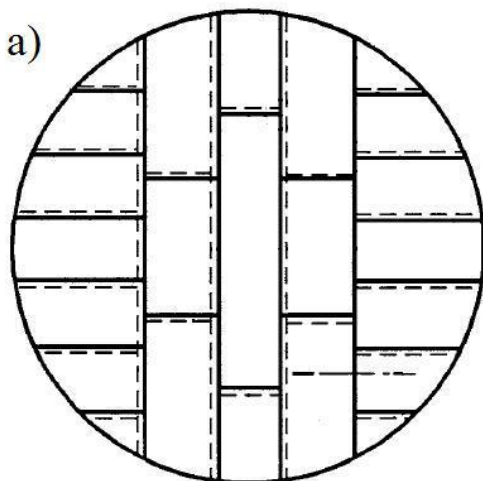
#### 2.6.1.2 Dno nádrže

##### Jednoduché

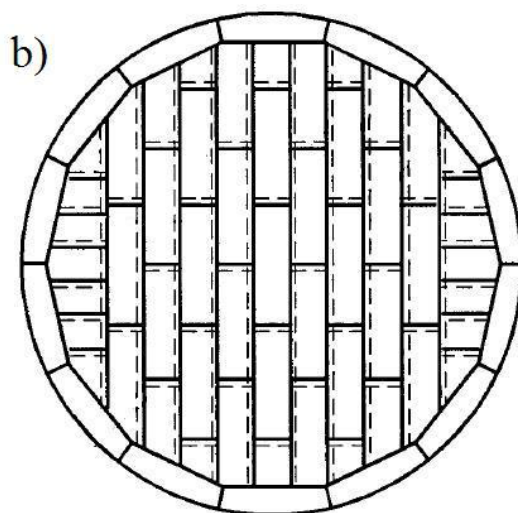
Skládá se ze stejno-formátových ocelových plechů, obdélníkového tvaru. Tloušťky těchto plechů jsou stanoveny v závislosti na průměru pláště. Do 15 m průměru to je 5 mm a nad 15 m je jeho tloušťka 6 mm. Spojování plechů svařováním natupo, přeplátováním či kombinací obou [1].

U nádrží menších průměrů se plášť přivařuje přímo ke dnu. Kdežto průměry větší jak 12,5 m jsou opatřeny vnějším obvodovým věncem, dle normy EN 14015 [5]. Dno sestává ze segmentových plechů minimální šířky 650 mm a tloušťky 8 až 14 mm. Vyspádované poměrem 1:120 a to ke kalové jímce, k obvodu nádrže, centrálnímu žlabu nebo ke středu nádrže [1].





Obr. 2.5: Plechy dna na okraji [9]



Obr. 2.6: Na okraji věnec [9]

### Neúplně podepřené

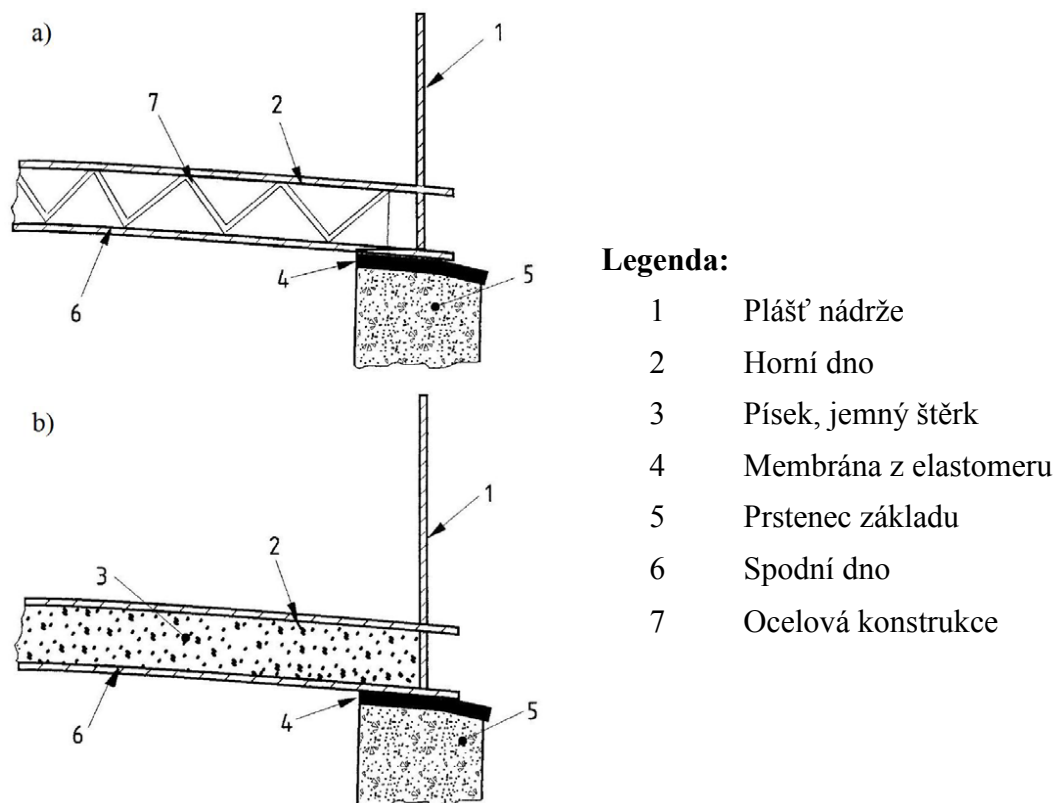
Tyto dna se nezajišťují souvislým základem, ale podepírají se konstrukcemi z ocelových sekcí, či zpevněnými betonovými nosníky. Spoje plechů dna jsou prováděny tupým svárem [5].

### Dvojité

Jedná se o nejbezpečnější konstrukci dna co do nepropustnosti nádrže a to i tehdy, objeví-li se ve dně díra. Porušení obou vrstev je téměř nemožné. Dalším bezpečnostním faktorem je možná kontrola dna při odstávce. Znázornění dvou složitějších případů je na obrázku 2.7 [5].

#### 2.6.1.3 Plášť nádrže

Plášť je složen z tabulí plechu jednoho formátu. Tyto plechy jsou svařovány a při menších tloušťkách než 12 mm se opracovávají hrany a předešlují se na kratší straně. Při tloušťkách větších než 12 mm nejprve opracujeme hrany, předešleme a následně se skruží do požadovaného průměru [1].



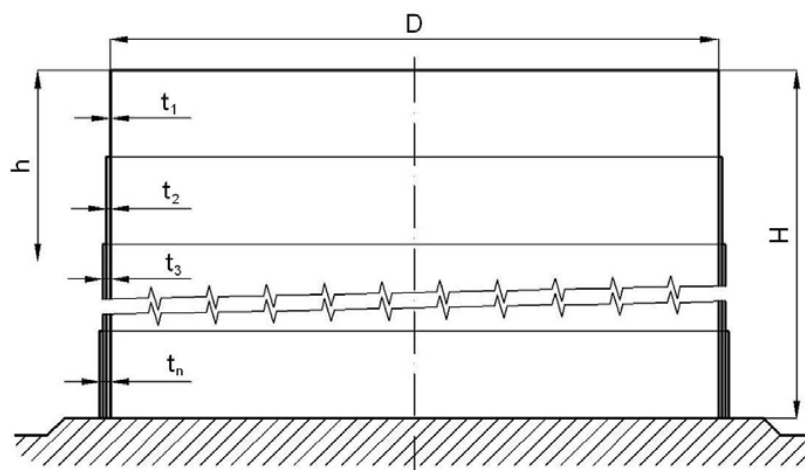
Obr. 2.7: Případy konstrukce dvojitého dna [9]

Tloušťku plechu volíme dle vlastností použitého materiálu. Tyto tloušťky stanovuje norma EN 14 015. Norma dále specifikuje výrobu, navrhování a provoz nadzemních vertikálních nádrží. Dle tabulkových hodnot normy jsou stanoveny tloušťky plechů v rozmezí 10 až 40 mm [5].

Po celé výšce pláště nejsou tloušťky všech plechů totožné. Jelikož dochází u kapalin především k zatížení hydrostatickým tlakem, který roste s výškou, stejně tak roste i tloušťka plechů, viz Obr. 2.8. Tloušťka plechů se stanovuje statickým výpočtem. Nahoře jsou plechy menších tlouštěk, které se směrem dolů zvětšují. Jednotlivá patra nazýváme luby. Norma také udává minimální tloušťku luby vrchního patra. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.2

Tab. 2.2: Minimální tloušťka horního luby [2]

Průměr pláště nádrže [m]	Maximální tloušťka horního luby [m]
< 15,25	5
15,25 – 36,6	6
36,6 – 61	8
61 <	10



Obr. 2.8 Znáznornění tloušťky lubů v plášti [2]

### Svařování pláště

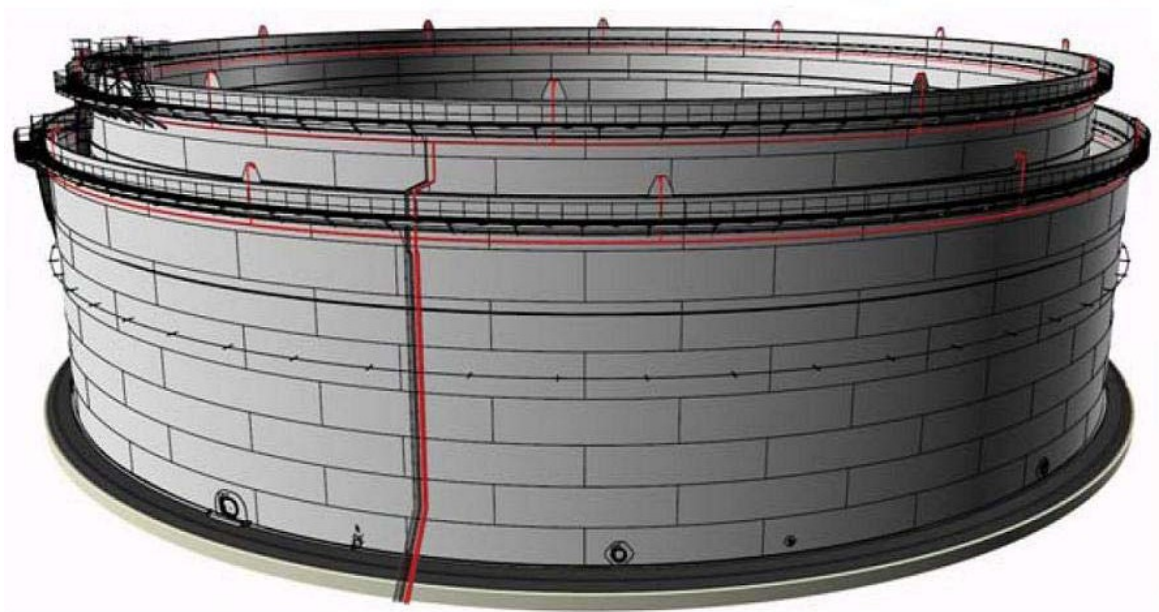
Plášť se svařuje natupo a jednotlivé díly musí být přesně slícované na sebe [1]. U plovoucí střechy musíme dbát na minimální převýšení svarového kovu, avšak stále se vyžaduje plné provaření [5]. Spojení pláště se dnem se sestavuje oboustranným koutovým svarem.

Svary vaří poloaumaty, automaty nebo kvalifikovaný svařeč s příslušným osvědčením. Teplota plechu při svařování musí být vyšší než bod mrazu. To nám zajistí kvalitní svár základovému kovu. Každý takovýto svar má své identifikační označení.

#### 2.6.1.4 Plášť otevřené nádrže

Při horním okraji pláště otevřené nádrže je nutno provést konstrukční úpravu okraje. Ty jsou zpravidla vyztuženy prstencem či prstenci a mohou být využity jako ochoz. Znáznornění pláště na obrázku č. 2.9. Stabilitu otevřených nádrží může narušit vítr tehdy, je-li ve fázi výstavby, během vypuštění, revizi nebo odstávce. Dalším možným narušením je nerovnoměrné sedání. Zajištění bezpečnosti proti extrémním zatěžovacím stavům se provádí návrhem dostatečně vyztuženého límce zajišťující jeho tuhost. Límec nám zajistí stabilitu a roztržení nádrže. Což umožní držení stejného tvaru nádrže po celou jeho dobu životnosti [1].

Ztužující prstence se provádí z normalizovaných profilů, či z plechových segmentů. Při funkci prstence jako ochozu jej umístíme 100 mm pod horní okraj pláště, který je také vyztužen. Horní okraj vyztužujeme L profilem.



*Obr. 2.9: Plášť otevřené nádrže se záchytnou nádrží [10]*

#### **2.6.1.5 Střecha nádrže**

Stavba střech je obvykle ve dvou provedeních – s pevnou střechou nebo se střechou plovoucí. Výběr střechy je závislý na skladovaném médiu. Avšak můžeme zvolit střechu jako kombinaci obou způsobů, především při skladování zkapalněného plynu. U pevných střech je její konstrukce samonosná nebo podepřená, kdežto plovoucí mají více možností provedení [1].

##### **Pevná střecha**

Dělíme na samonosné a podepřené v závislosti na zatížení, ekonomickém aspektu a průměru samotné nádrže [1].

Složení samonosné pevné střechy je z ocelové kostry a plynové svařené skořepiny. U skladování ropných produktů dodržujeme pravidlo, že se kostra nepřivaňuje ke skořepině. Okrajový úhel  $25^\circ$  zajišťuje malé převýšení a tím pádem i malý parní prostor. Hlavní nosný prvek se stává z profilů U, I a L tvořící paprskovitě svařená žebra, jež jsou kostrou střechy a vycházejí od lucernového prstence do patního prstence. Zajištění horního okraje válcového pláště a rozpěrných sil od žebor je pomocí patního prstence. Mezižeborní prstence pak zajišťují stálou polohu žebor. Právě patní prstenec je kritickým místem z pevnostního hlediska, a proto jej musíme podrobně analyzovat.

Střechy se mohou provádět bez kostry a to do průměru pláště 15 m nebo s kostrou a to ve výše popsaném případě, většinou s průměrem pláště 15 až 50 m. Typ střechy však vždy volíme v závislosti na průměru pláště. Střechy velkých průměrů je možno podepřít vnitřními sloupy nebo řešením samonosné střechy. Samonosná střecha s sebou ovšem přináší úskalí v podobě snížené únosnosti „ruku v ruce“ s finanční náročností. Především proto, že zatížení střechy roste kvadraticky s průměrem nádrže. Tím pádem je nutno navrhnout profily větších průřezů čímž dochází k nárůstu hmotnosti střechy a také její ceny. A naopak se snižuje stabilní rezerva konstrukce.

Nesamonosná plochá střecha je ve tvaru plochého kužele, jejíž okrajový úhel nepřesahuje  $5^\circ$ . Svařované plechy tvoří skořepinu střechy. Kostru pak tvoří radiální žebra, která jsou poměrně hustě rozmístěna a sloupy podepírající polygonové prstence. Samotná skořepina je volně umístěna na kostře. Výpočtový model tohoto typu střechy je jednoduchý, neboť prstence i žebra bereme jako prostý nosník podepřený dvěma podporami. Celá konstrukce je pak staticky určitá a pohlížíme na ni jako na systém staticky určitých nosníků na 2 podporách. Jakékoliv případné zvětšení následně bereme jako přidání sekce u vnějšího průměru.

### **Plovoucí střecha**

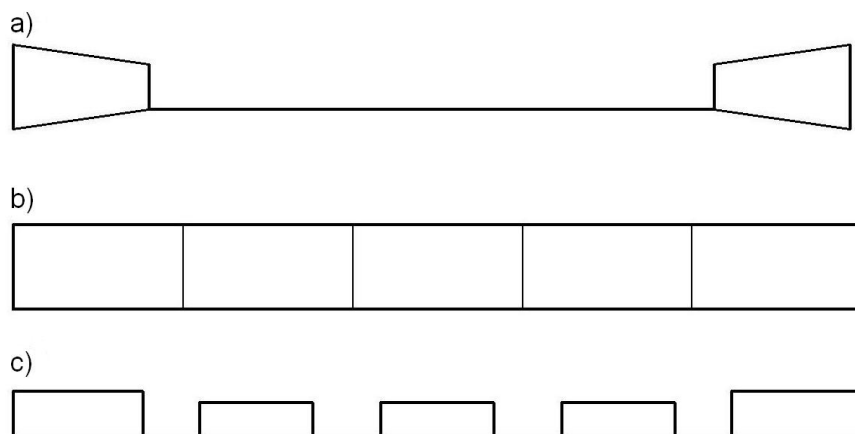
Používá se při skladování především těkavých kapalin (ropa, benzín, atd...) [1]. Předností těchto střech je redukování možného výbuchu nebo požáru, protože v prostoru mezi střechou a hladinou nevznikne parní prostor, čili ani výbušná směs uskladněného média a vzduchu. Nastane-li požár, může hořet jen plyn ve spárách, mezi pontonem a pláštěm. Ze zádržných plechů se na střechu instaluje mezikruží, které v případě požáru zachytí hasící pěnu a vyplní prostor se spárami. Tímto zádržným systémem snížíme investice případného hašení požáru.

Mezi další výhody patří menší ztráty vzniklé při odparu. Naopak nevýhodou může být možná kontaminace srážkovou vodou oproti pevné střeše.

Možné typy plovoucích střech, viz Obr 2.10:

- a) Jednopalubové
- b) Dvoupalubové
- c) Kazetové





Obr. 2.10: Konstrukční typy plovoucích střech [1]

Střecha je rozdělena na velký počet uzavřených oddělení, aby zabránili případnému potopení střechy v důsledku jejího prorezivění. Vodotěsné komory tvoří společně věnec dvoupalubové plovoucí střechy. Prostor uvnitř vyplňují plechy o tloušťce cca 5 mm. Spodní paluba od horní je vzdálena okolo 200 mm. Název kazetových střech vychází ze složení střechy z velkého počtu kazet stejného rozměru, např. 2 500 x 2 500 x 250. Tyto střechy patří mezi nejbezpečnější. Okraje střechy kruhového tvaru jsou plynotěsně uzavřeny a připojeny k obvodovému pontonu.

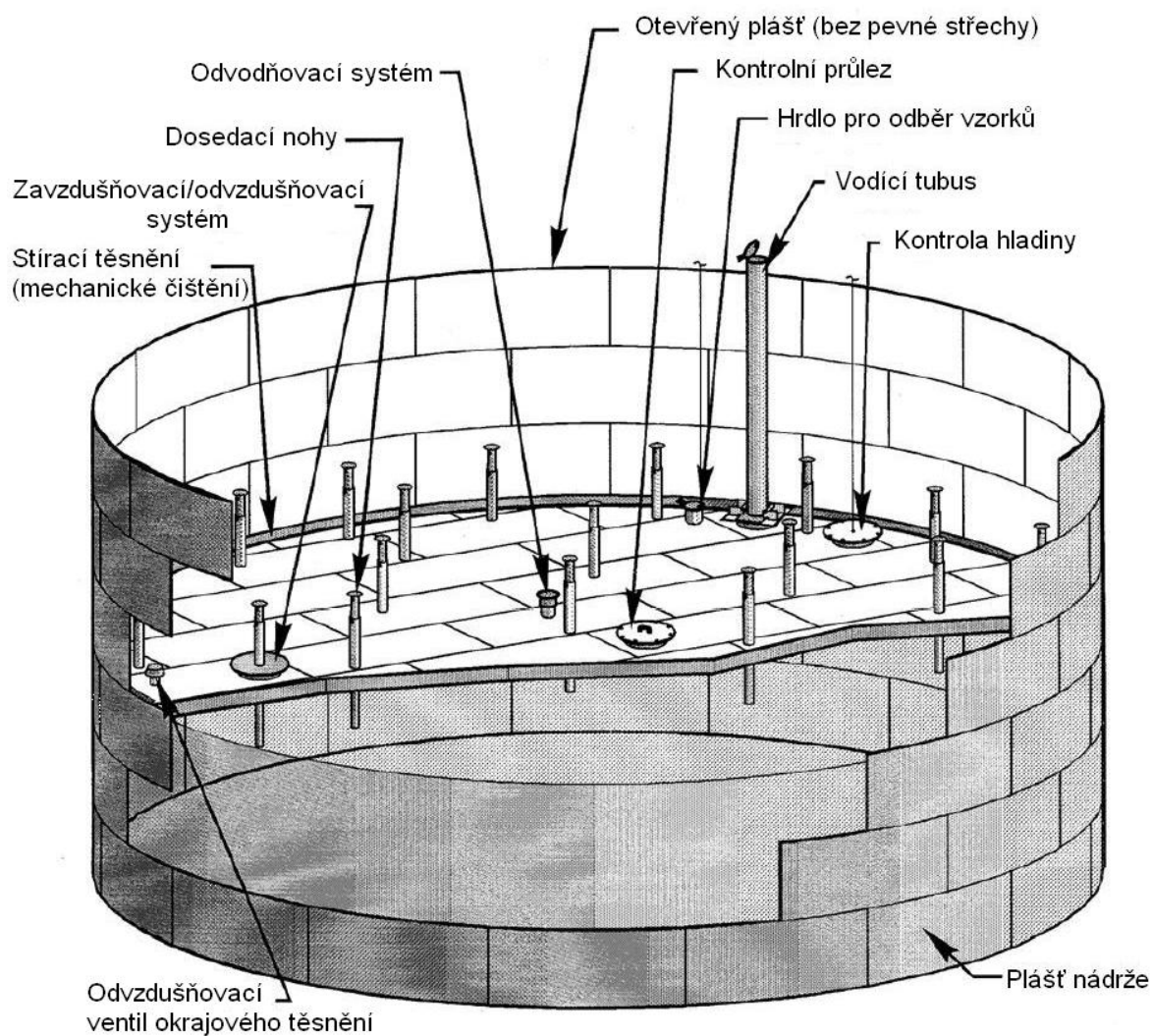
Výhody kazetových střech spočívají v:

- Rizika spojená s prorezavěním nejsou hrozbou potopení střechy, protože každá kazeta představuje samostatný objem.
- Možná „stavebnicová“ výroba střechy díky jednotnému tvaru. Výroba se provádí sériově, což nám snižuje počty přípravků a zvyšuje produktivitu.

Minimální vybavení kazetových střech, viz Obr. 2.11:

- Několik průlezů
- Sklopný žebřík pro vstup během libovolné výšky hladiny
- Teleskopické stojany využívány při odstávce
- Systém odvodu dešťových vod
- Vodivé uzemnění (pomocí ocelového lanka)
- Okrajové systémy – těsnící a systém pro stírání
- Zádržný systém plechů hasící pěny

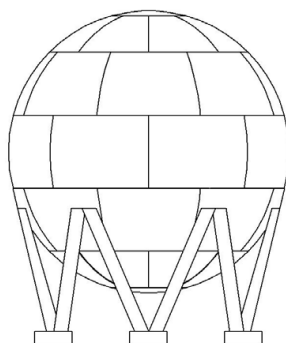
Okrajový ponton – důležitá součást střechy. Stará se o plynulý chod. Těsnění umístěná na okrajovém pontonu se starají o těsnost i během nepříznivých povětrnostních podmínek. Vlastnosti takového těsnění jsou trvanlivost, otěruvzdornost a plná funkčnost.



Obr. 2.11: Vybavení dvoupalubové plovoucí střechy [11]

## 2.6.2 Kulové nádrže

Užívají se především při skladování látek velkých objemů pod tlakem. Kulový tvar je vhodný zejména pro nejlepší poměr povrchu a objemu a dále taky z hlediska spotřeby materiálu, či hlediska napjatosti (obr. 2.12).



Obr. 2.12: Kulová nádrž

Stavíme jej především pro tyto účely [1]:

- Nadzemní vodojemy
- Tlakové plynojemy pro zemní plyn
- Technologické nádrže (odsolování ropy)
- Bezpečnostní kryty jaderných reaktorů.

Kulové nádrže pro skladování kapalin nabývají rozměrů pouze do 1 600 m<sup>3</sup> (v České republice se staví nádrže o objemech 600 a 1 000 m<sup>3</sup>), neboť při větších objemech dochází k příliš vysokému membránovému napětí v důsledku hydrostatického tlaku. Ani zvětšení průměru pláště není výhodné, v důsledku technologického hlediska. Avšak plyny pod tlakem je možno skladovat i v nádržích větších rozměrů.

Plynojem 5 000 m <sup>3</sup>	-	přetlak 0,9 MPa,	-	max. tloušťka stěny 30 mm
Plynojem 20 000 m <sup>3</sup>	-	přetlak 0,56 MPa	-	max. tloušťka stěny 28 mm
Plynojem 55 000 m <sup>3</sup>	-	přetlak 0,45 MPa	-	max. tloušťka stěny 30 mm

Tvar kulové nádrže zajišťuje po celém povrchu skořepiny vyrovnanou membránovou napjatost, která je polovoční ve srovnání s válcovou nádrží o stejném průměru. Tyto nádrže lze považovat za neekonomičtější v důsledku úspory materiálu, poloviční napjatosti a poměrem mezi povrchem a objemem.

### 2.6.3 Speciální nádrže

#### 2.6.3.1 Kapkové a toroidní nádrže

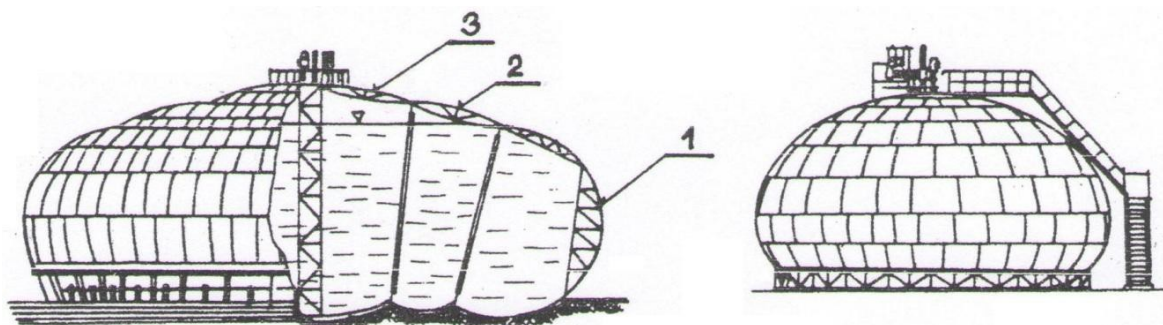
Historie se datuje od třicátých let dvacátého století s počátkem vzniku v USA s požadavkem na skladování velkých objemů lehkých benzínů, který má jak známo, velkou tenzi par, již při běžných teplotách. Jde tedy o skladování kapalin pod tlakem. Nejvhodnějším tvarem nádrže se konstruktéři nechali inspirovat samotnou přírodou, když ji vytvořili ve tvaru kapky ležící na rovině, viz obr. 2.13. Takovýto tvar umožňuje konstantní membránovou napjatost. V důsledku malé membránové napjatosti, je plášť zkonstruován z plechů tloušťky okolo 6 mm [1].

Nádrže dimenzujeme na vnitřní přetlak. I když jsou uzavřeny, tak nedochází k odfukovým ztrátám. Avšak díky vysokým teplotám způsobeným slunečním zářením se rozpíná uskladněné médium, které následně zvyšuje přetlak uvnitř nádrže. V malém

rozmezí je schopna sama nádrž tuto změnu kompenzovat. Omezujícím faktorem nádrží jsou jejich základy, na základě kterých stupňujeme jejich objem. Objem nádrží lze konstruovat do 6 500 m<sup>3</sup>.

Objem lze výrazně zvýšit konstrukcí toroidní nádrže. Takovéto nádrže jsou složeny z anuloidových a toroidních ploch nebo ploch navzájem přecházejících. Napjatosti těchto ploch jsou skoro čistě membránové a nejsou jako v případě kapkové nádrže konstantní napjatosti.

Nádrže anuloidové či kulové plochy svařujeme z tenkých plechů tloušťky 6 až 8 mm. Prstenci ztužujeme místa tvarových přechodů. V případech, je-li nádrž prázdná, je nutná podpůrná konstrukce, která zajišťuje stálý tvar. Takto vyztužená nádrž musí být schopna přenést zatížení od sněhu, větru, podtlaku, ...



Obr. 2.14: Toroidní a kapková nádrž [1]

#### 2.6.3.2 Nádrže na zkapalněné plyny

Skladování plynů ve zkapalněném stavu se provádí zejména pro technické účely. Nejčastěji se takovýmto způsobem skladují tyto plyny – propan, butan, kyslík, čpavek, etylen, oxid uhličitý a helium. Rozlišujeme dva druhy skladování plynů – izotermický způsob (při nízké teplotě) a tlakový způsob (při zvýšeném tlaku) [1].

##### Izotermický způsob skladování

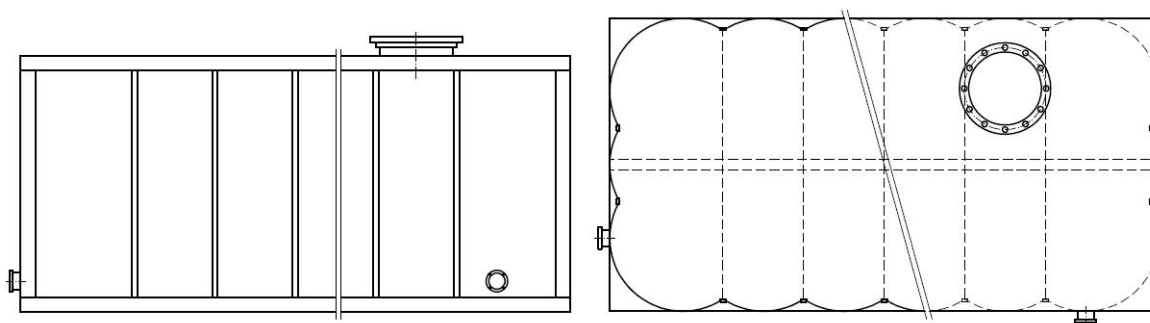
Nádrže jsou dvouplášťové a meziplášťový prostor je vyplněn vhodnou izolací. Materiál nádrže musí zaručovat dostatečnou vrubovou houževnatost v rozmezí teplot od -30°C do -270°C a musí být dobře svařitelný. Po svařování se provádí defektoskopická kontrola svarových spojů a také se zaměřujeme na zbytkové pnutí po svařování.

## Tlakový způsob

Zaujímají kulový nebo válcový tvar se slabou izolační schopností. Na maximální teplotu okolí dimenzujeme maximální tlak sytých par. V zásobníku se udržuje stálý pracovní tlak pomocí kompresorové jednotky. Z ekonomického hlediska mají význam zásobníky do 1 000 m<sup>3</sup>.

### 2.6.3.3 Víceválcové nádrže

Často se využívají v místech, které nám nedovolují umístění klasických válcových nádrží. Pro lepší využití prostoru tedy stavíme kvádrový tvar, který je schopen lépe využít prostor. Rovné stěny kvádru namáhá pouze hydrostatický tlak, a způsobuje prohýbání stěn. Zamezení prohýbání stěn provádíme dvěma způsoby. Žebrovými výztuhami stěn nebo zvětšením tloušťky stěny. Avšak obě varianty zvyšují montážní náklady v důsledku použití těžké techniky, náklady použitého materiálu. Právě z těchto důvodů volíme raději tvary válcových ploch (válcových panelů), protože mají při stejném zatížení podstatně menší tloušťku plechu. Platí zde podobná myšlenka jako u toroidních nádrží. Namáhání těchto víceválcových nádrží je převážně od membránového napětí. Rámy nádrží mohou zaujímat objem přepravných kontejnerů pro snazší přepravu. Nádrž se skládá z válcových panelů, víka a plochého dna. Všechno umístíme do obdélníkového rámu, který je svařený běžnými válcovými profily. Znázornění nádrží tohoto typu je na obrázku č. 2.14. [1].



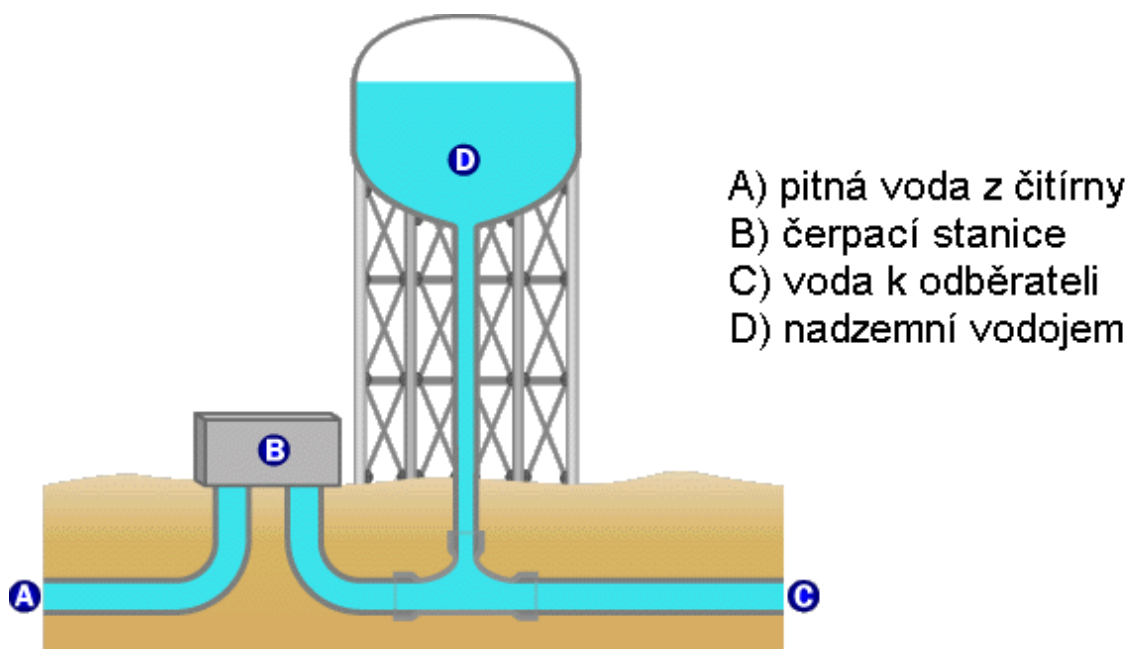
Obr. 2.14: Znázornění víceválcových nádrží [1]

Plášť je také vyztužen táhly v místě spojů válcových panelů uvnitř pláště. Táhla mají funkci odolávat hydrostatickému tlaku a zajišťují úsporu materiálu. Nejen táhla, ale třeba i prolamované přepážky se konstruuji vůči působení hydrostatického tlaku. Jejich další funkcí je možnost skladování více druhů kapalin, díky odděleným přepážkám. Využití u skladování pohonných hmot atp.

#### 2.6.3.4 Ocelové nadzemní vodojemy

Výhoda nadzemních vodojemů spočívá především v jejich jednoduchosti a variabilitě tvarů či velikostí. Vodojemy stavíme zpravidla na vyvýšených místech. Konstrukce vodojemu může spočívat na sloupech - vodojemy menších objemů (u malých objemů postačí jeden centrální sloup). Každopádně vždy musí zajistit dostatečný tlak vody ve vodovodním řádu příslušné spádové lokality vodojemu [5].

Princip vodojemu je založen na čerpání vody do vodojemu, ze kterého je následně samospádem odebírána odběrnými místy (spotřebiteli). Nádrž vodojemu je zpravidla tvaru kulového s prostým membránovým napjetím. Místo napojení se ztužuje žebry, zajišťující dostatečnou tuhost místa napojení. Znázorněno na Obr. 2.15. [1].



Obr. 2.15: Princip fungování nadzemních vodojemů [12]



### 3. VÝPOČET NÁDRŽE

#### 3.1 Výpočet součinitele prostupu tepla

##### Vstupní parametry

$t_{(110)} = [^{\circ}\text{C}]$  vstupní teplota vody

$t_{(80)} = [^{\circ}\text{C}]$  výstupní teplota vody

$t_{(75)} = [^{\circ}\text{C}]$  teplota uhlovodíků (v olejojemu)

$W_{(n)} = 0,125 \text{ [m / s]}$  rychlost proudění otopné vody (nucený oběh)

$W_{(p)} = 0,04 \text{ [m / s]}$  rychlost proudění otopné vody (přirozený oběh)

$d_1 = 60,3 \text{ [mm]}$  průměr topného hadu (vnější)

$d_2 = 57,4 \text{ [mm]}$  průměr topného hadu (vnitřní)

##### 3.1.1 Určující teploty

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1)$$

##### Střední teplota vody

$$t_{(95)} = \frac{t_{(110)} + t_{(80)}}{2} = \frac{110 + 80}{2} = 95 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

##### Střední teplota stěny

$$t_{(85)} = \frac{t_{(95)} + t_{(75)}}{2} = \frac{95 + 75}{2} = 85 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

##### Určující teplota vody

$$t_{(90)} = \frac{t_{(95)} + t_{(85)}}{2} = \frac{95 + 85}{2} = 90 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

**Fyzikální veličiny charakterizující střední teplotu vody  $t_{95}$**

$$\rho_{(95)} = 961,85 \text{ [kg / m}^3\text{]}$$

$$c_{p(95)} = 4,214 \text{ [kJ / kg . K]}$$

$$Pr_{(95)} = 1,85 \text{ [1]}$$

$$v_{(95)} = 0,311 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{ / s]}$$

$$\lambda_{(95)} = 0,68 \text{ [W / m . K]} \text{ viz. literatura [6]}$$

### 3.1.2 Výpočet Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{W \cdot d}{v} \quad [1] \quad (2)$$

**Nucený oběh**

$$Re_n = \frac{W_n \cdot d}{v_{(95)}} = \frac{0,125 \cdot 0,0545}{0,311 \cdot 10^{-6}} = 21\,905,15 \text{ [1]} \rightarrow \text{turbulentní vyvinuté proudění}$$

### 3.1.3 Výpočet Nusseltova kritéria

$$Nu_1 = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad [1] \quad (3)$$

**Nucený oběh**

$$Nu_{1.1(n)} = 0,023 \cdot Re_n^{0,8} \cdot Pr_{(95)}^{0,4} = 0,023 \cdot 21\,905,15^{0,8} \cdot 1,85^{0,4} = 89,16 \quad [1]$$

$$Pr_{(95)} = 1,85 \text{ [1]} \rightarrow \text{stanoveno z literatury [6]}$$

K výpočtu turbulentního proudění byla použita literatura [6]

Platnost vztahu je pro Re od  $10^4$  až do  $10^8$ .

$$Nu_2 = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{0,25} \quad [1] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Nu_{2.1(n)} &= 0,021 \cdot Re_{(n)}^{0,8} \cdot Pr_{(95)}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{(95)}}{Pr_{s(85)}}\right)^{0,25} \\ &= 0,021 \cdot 21\,905,15^{0,8} \cdot 1,85^{0,43} \cdot \left(\frac{1,85}{2,08}\right)^{0,25} = 78,85 \text{ [1]} \end{aligned}$$

$$Pr_s = Pr_{s(0,85)} = 2,08 \text{ [1]} \rightarrow \text{stanoveno z literatury [6]}$$

Platnost vztahu je pro rozvinuté turbulentní proudění  $Re > 104$  při  $l/d > 50$ .

### Nusseltovo kritérium a jeho střední hodnota pro nucený oběh

$$Nu_1 = \frac{Nu_{1.1(n)} + Nu_{2.1(n)}}{2} \quad [1] \quad (5)$$

$$Nu_{1(n)} = \frac{89,16 + 78,85}{2} = 84 \quad [1]$$

### Přirozený oběh

$$Nu = A \cdot Pr^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad [1] \quad (6)$$

$$Nu_{1(p)} = A_1 \cdot Pr_{(95)}^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_{(95)}}{Pr_{s(85)}} \right)^{0,25} = 23,6 \cdot 1,85^{0,43} \cdot \left( \frac{1,85}{2,08} \right)^{0,25} = 29,85 \quad [1]$$

Proudění v přechodové oblasti – výpočetní vztah převzat z literatury [1].

Výpočet proveden interpolací, závisí na Re.

Platnost vztahu platí pro  $200 > Re > 10\,000$ .

Interpolace Prandtlůva čísla:

$$Pr_{(95)} = Pr_{(90)} + \frac{5}{10} \cdot (Pr_{(100)} - Pr_{(90)}) = 1,95 + \frac{5}{10} \cdot (1,75 - 1,95) = 1,85 \quad [1]$$

$Pr_{(95)} \rightarrow$  Prandtlůvo číslo pro střední teplotu vody  $t_{95}$ .

$$Pr_{(85)} = Pr_{(80)} + \frac{5}{10} \cdot (Pr_{(90)} - Pr_{(80)}) = 2,21 + \frac{5}{10} \cdot (1,95 - 2,21) = 2,08 \quad [1]$$

$Pr_{(85)} \rightarrow$  Prandtlůvo číslo pro střední teplotu vody  $t_{85}$ .

### 3.1.4 Výpočet součinitele přestupu tepla

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (7)$$

### Nucený oběh

$$\alpha_{1(n)} = \frac{Nu_{1(n)} \cdot \lambda_{(95)}}{d} = \frac{84 \cdot 0,68}{0,0574} = 1\,049,38 \quad [W/m^2 \cdot K]$$

### Přirozený oběh

$$\alpha_{1(p)} = \frac{Nu_{1(p)} \cdot \lambda_{(95)}}{d} = \frac{29,85 \cdot 0,68}{0,0574} = 372,44 \quad [W/m^2 \cdot K]$$

Výpočetní vztah převzat z literatury [4]

### Určení součinitele přestupu tepla z uhlovodíků do povrchu trubky

Určující teplotou při přestupu mezi uhlovodíky a povrchem trubky je  $t_{(80)}$ .

Viz. Kapitola 3.1.1, vztah 1.

$$t_{(80)} = \frac{t_{(85)} + t_{(75)}}{2} = \frac{85 + 75}{2} = 80 \text{ [} ^\circ\text{C]}]$$

Fyzikální veličiny pro středně sirnatý olej typu M při teplotě 80 [ °C].

Hodnoty interpolovaných fyzikálních veličin:

$$\rho_{(80)} = 860 \text{ [kg / m}^3\text{]}$$

$$c_{p(80)} = 1,996 \text{ [kJ / kg . K]}$$

$$Pr_{(80)} = 72,45 \text{ [1]}$$

$$\lambda_{(80)} = 0,135 \text{ [W / m . K]}$$

$$\nu_{(80)} = 58 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{ / s]}$$

$$\gamma_{(80)} = 0,912 \cdot 10^{-6} \text{ [1 / K]} \text{ viz. literatura [1]}$$

### Určení charakteru proudění

$$Pr_{S(75)} = 59,1 \text{ [1]}$$

Volná konvekce do neohrazeného prostoru.

$$Nu = 0,5 \cdot (Pr \cdot Gr)^{0,25} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \text{ [1]} \quad (8)$$

$$Nu_1 = 0,5 \cdot (Pr_{(80)} \cdot Gr_1)^{0,25} \cdot \left( \frac{Pr_{(80)}}{Pr_{S(75)}} \right)^{0,25} = 0,5 \cdot (72,45 \cdot 9\,033,25)^{0,25} \cdot \left( \frac{72,45}{59,1} \right)^{0,25} = 14,96 \text{ [1]}$$

Platnost vztahu platí pro  $10^3 < Gr \cdot Pr < 10^8$  a pro Re v rozmezí  $10 \rightarrow 1\,000$ .

Výpočetní vztah byl převzat z literatury [1]

### 3.1.5 Výpočet Grashoffova kritéria

$$Gr = \gamma \cdot \Delta t \cdot \frac{g \cdot d^3}{\nu^2} \text{ [1]} \quad (9)$$

$$Gr_1 = \gamma_{(80)} \cdot (t_{(85)} - t_{(75)}) \cdot \frac{g \cdot d_1^3}{\nu_{(80)}^2} = 0,912 \cdot 10^{-3} \cdot (85 - 75) \cdot \frac{9,81 \cdot 0,0603^3}{(58 \cdot 10^{-6})^2} = 9\,33,25 \text{ [1]}$$

### Součinitel přestupu tepla z trubky do uhlovodíků.

Viz. Kapitola 3.1.4, vztah 7

$$\alpha_{1(t,0)} = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{(80)}}{d_2} = \frac{14,96 \cdot 0,135}{0,0574} = 33,49 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$$

### 3.1.6 Střední logaritmický teplotní spád

$$\Delta t = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}} \text{ [} ^\circ\text{C]} \quad (10.1)$$

$$\Delta t_1 = \frac{(t_{(110)} - t_{(75)}) - (t_{(80)} - t_{(75)})}{\ln \frac{(t_{(110)} - t_{(75)})}{(t_{(80)} - t_{(75)})}} \text{ [} ^\circ\text{C]} \quad (10.2)$$

$$\Delta t_1 = \frac{(110 - 75) - (80 - 75)}{\ln \frac{(110 - 75)}{(80 - 75)}} = 15,42 \text{ [} ^\circ\text{C]}$$

Výpočetní vztah byl převzat z literatury [7]

### 3.1.7 Součinitel prostupu tepla

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot r_2}} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad (11)$$

#### Nucený oběh

$$\begin{aligned} k_{1(n)} &= \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{\alpha_{1(n)} \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda_{plech}} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_{1(t,0)} \cdot r_2}} \\ &= \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{1\,049,38 \cdot 0,02725} + \frac{1}{37,1} \cdot \ln \frac{0,03015}{0,02725} + \frac{1}{33,49 \cdot 0,03015}} \\ &= 6,11 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \end{aligned}$$

$\lambda_{plech} \rightarrow$  teplotní vodivost trubky [W / m . K] Viz literatura [6]

### Přirozený oběh

$$\begin{aligned} k_{1(p)} &= \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{\alpha_{1(p)} \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_{1(t,0)} \cdot r_2}} \\ &= \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{372,44 \cdot 0,02725} + \frac{1}{0,02725} \cdot \ln \frac{0,03015}{0,02725} + \frac{1}{33,49 \cdot 0,03015}} \\ &= 5,59 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \end{aligned}$$

Výpočetní vztah byl převzat z literatury [7]

## 3.2 Měrné tepelné toky a teploty stěn

### 3.2.1 Měrný tepelný tok

$$q = k \cdot \Delta t \text{ [W / m]} \quad (12.1)$$

### Nucený oběh

$$q_{1(n)} = k_{1(n)} \cdot \Delta t_1 = 6,11 \cdot 15,42 = 94,22 \text{ [W / m]}$$

### Přirozený oběh

$$q_{1(p)} = k_{1(p)} \cdot \Delta t_1 = 5,59 \cdot 15,42 = 86,2 \text{ [W / m]}$$

Výpočetní vztah byl převzat z literatury [7].

### 3.2.2 Teploty stěn

#### Na straně vody

$$q = \frac{2 \cdot \pi (t_1 - t_{s1})}{\frac{1}{\alpha \cdot r}} \text{ [W/m]} \quad (12.2)$$

$$t_{s1.1} = t_1 - \frac{q_{1(n)}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\alpha_{1(n)} \cdot r_1} = 95 - \frac{94,22}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{1\,049,39 \cdot 0,02725} = 94,47 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

#### Na straně oleje

$$t_{s2.1} = t_2 - \frac{q_{1(n)}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\alpha_{1(t,0)} \cdot r_2} = 75 - \frac{94,22}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{33,49 \cdot 0,03015} = 89,85 \text{ [}^\circ\text{C]}$$



## 4. DRUHÉ PŘIBLÍŽENÍ

### 4.1 Výpočet součinitele přestupu tepla II

#### Určující teplota vody II

Viz. Kapitola 3.1.1, vztah 1

$$t_{(94,73)} = \frac{t_{(95)} + t_{s1.1}}{2} = \frac{95 + 94,47}{2} = 94,73 \text{ [ } ^\circ\text{C]}$$

#### 4.1.1 Výpočet Nusseltova kritéria II

Viz kapitola 3.1.3, vztah 3

$$Nu_{1,2(n)} = 0,023 \cdot Re_{(n)}^{0,8} \cdot Pr_{(94,73)}^{0,4} = 0,023 \cdot 21\,905,15^{0,8} \cdot 1,85^{0,4} = 87,3 \text{ [1]}$$

$$Pr_{(94,73)} = Pr_{(90)} + \frac{4,67}{10} \cdot (Pr_{(100)} - Pr_{(90)}) = 1,95 + \frac{4,67}{10} \cdot (1,74 - 1,95) = 1,85 \text{ [1]}$$

Platnost vztahu platí pro  $Re$  od  $10^4 \rightarrow 10^8$ .

Viz kapitola 3.1.3, vztah 4

$$Pr_{S(84,86)} = 2,09 \text{ [1]}$$

$$\begin{aligned} Nu_{2,2(n)} &= 0,021 \cdot Re_{(n)}^{0,8} \cdot Pr_{(94,73)}^{0,43} \left( \frac{Pr_{(94,73)}}{Pr_{S(84,86)}} \right)^{0,25} \\ &= 0,021 \cdot 21\,905,15^{0,8} \cdot 1,85^{0,43} \cdot \left( \frac{1,85}{2,09} \right)^{0,25} = 78,76 \text{ [1]} \end{aligned}$$

#### Určující teplota uhlovodíků II

Viz kapitola 3.1.1, vztah 1

$$t_{(84,86)} = \frac{t_{(75)} + t_{(94,73)}}{2} = \frac{75 + 94,73}{2} = 84,86 \text{ [ } ^\circ\text{C]}$$

$$Pr_{(84,86)} = Pr_{(80)} + \frac{4,67}{10} \cdot (Pr_{(90)} - Pr_{(80)}) = 2,22 + \frac{4,67}{10} \cdot (1,95 - 2,22) = 2,09 \text{ [1]}$$

#### Střední hodnota Nusseltova kritéria II

Viz. Kapitola 3.1.3, vztah 5

$$Nu_{2(n)} = \frac{Nu_{1,2(n)} + Nu_{2,2(n)}}{2} = \frac{87,3 + 78,76}{2} = 83,03 \text{ [1]}$$

### Přirozený oběh

Viz. Kapitola 3.1.3, vztah 6

$$Nu_{2(p)} = A_2 \cdot Pr_{(94,73)}^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_{(94,73)}}{Pr_{S(84,86)}} \right)^{0,25} = 29,3 \cdot 1,85^{0,43} \left( \frac{1,85}{2,09} \right)^{0,25} = 37,03 \quad [1]$$

## 4.1.2 Součinitel přestupu tepla II

Viz. Kapitola 3.1.4, vztah 7

### Nucený oběh

$$\alpha_{1,2(n)} = \frac{Nu_{2(n)} \cdot \lambda_{(94,73)}}{d_2} = \frac{83,03 \cdot 0,68}{0,0574} = 983,63 \quad [W/m^2 \cdot K]$$

### Přirozený oběh

$$\alpha_{2,2(n)} = \frac{Nu_{2(p)} \cdot \lambda_{(94,73)}}{d_2} = \frac{37,03 \cdot 0,68}{0,0574} = 438,68 \quad [W/m^2 \cdot K]$$

### Určení součinitele přestupu tepla z uhlovodíků do povrchu trubky II

Viz kapitola 3.1.1, vztah 1

$$t_{(79,93)} = \frac{t_{(84,86)} + t_{(75)}}{2} = \frac{84,86 + 75}{2} = 79,93 \quad [^{\circ}C]$$

Fyzikální veličiny pro středně sirnatý olej typu M při teplotě 79,93 [°C].

Hodnoty interpolovaných fyzikálních veličin: Viz literatura [6]

$$\rho_{(79,93)} = 856,02 \quad [kg / m^3]$$

$$c_{p(79,93)} = 1,99 \quad [kJ / kg \cdot K]$$

$$Pr_{(79,93)} = 59,18 \quad [I]$$

$$\lambda_{(80)} = 0,134 \quad [W / m \cdot K]$$

$$\nu_{(80)} = 46,37 \cdot 10^{-6} \quad [m^2 / s]$$

$$\gamma_{(80)} = 0,91 \cdot 10^{-3} \quad [1 / K]$$

### Určení charakteru proděnění II

Viz. Kapitola 3.1.4, vztah 8

$$Pr_{(75)} = 72,45 \quad [1]$$

$$\begin{aligned}
Nu_2 &= 0,5 \cdot (Pr_{(75)} \cdot Gr_2)^{0,25} \cdot \left( \frac{Pr_{(75)}}{Pr_{S(79,93)}} \right)^{0,25} \\
&= 0,5 \cdot (72,45 \cdot 7\,741,92)^{0,25} \cdot \left( \frac{72,45}{59,18} \right)^{0,25} = 14,39 \quad [1]
\end{aligned}$$

### Součinitel přestupu tepla z trubky do uhlovodíků II

Viz. Kapitola 3.1.4, vztah 7

$$\alpha_{2(t,0)} = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_{(79,93)}}{d_2} = \frac{14,39 \cdot 0,134}{0,0574} = 33,59 \quad [W/m^2 \cdot K]$$

### 4.1.3 Výpočet Grashoffova kritéria II

Viz. Kapitola 3.1.5, vztah 9

$$\begin{aligned}
Gr_2 &= \gamma_{(79,93)} \cdot (t_{(84,86)} - t_{(75)}) \cdot \frac{g \cdot d_1^3}{\nu_{(79,93)}^2} = 0,91 \cdot 10^{-3} \cdot (84,86 - 75) \cdot \frac{9,81 \cdot 0,0603^3}{(46,37 \cdot 10^{-6})^2} \\
&= 7\,741,92 \quad [1]
\end{aligned}$$

### 4.1.4 Součinitel prostupu tepla II

Viz. Kapitola 3.1.7, vztah 11

**Nucený oběh**

$$\begin{aligned}
k_{2(n)} &= \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{\alpha_{1,2(n)} \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_{2(t,0)} \cdot r_2}} \\
&= \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{983,63 \cdot 0,02725} + \frac{1}{37,1} \cdot \ln \frac{0,03015}{0,02725} + \frac{1}{33,59 \cdot 0,03015}} \\
&= 6,11 \quad [W/m^2 \cdot K]
\end{aligned}$$

**Přirozený oběh**

$$\begin{aligned}
k_{2(p)} &= \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{\alpha_{2,2(p)} \cdot r_1} + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_{2(t,0)} \cdot r_2}} \\
&= \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{438,68 \cdot 0,02725} + \frac{1}{37,1} \cdot \ln \frac{0,03015}{0,02725} + \frac{1}{33,59 \cdot 0,03015}} \\
&= 5,85 \quad [W/m^2 \cdot K]
\end{aligned}$$

## 4.2 Určení tepelných ztrát, výkonů sekci a výšky hladiny

### 4.2.1 Měrný tepelný tok II

Viz. Kapitola 3.2.1, vztah 12.1

**Nucený oběh**

$$q_{2(n)} = k_{2(n)} \cdot \Delta t = 6,11 \cdot 15,42 = 94,22 \text{ [W / m]}$$

**Přirozený oběh**

$$q_{2(p)} = k_{2(p)} \cdot \Delta t = 5,85 \cdot 15,42 = 90,21 \text{ [W / m]}$$

### 4.2.2 Teploty stěn II

**Teplota stěny na straně vody**

Viz. Kapitola 3.2.2, vztah 12.2

$$t_{s1.2} = t_1 - \frac{q_{2(n)}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\alpha_{1,2(n)} \cdot r_1} = 95 - \frac{94,22}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{983,63 \cdot 0,02725} = 94,44 \text{ [} ^\circ\text{C]}$$

**Teplota stěny na straně uhlovodíků**

$$t_{s2.2} = t_2 - \frac{q_{2(p)}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\alpha_{2(t,0)} \cdot r_2} = 75 - \frac{90,21}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{33,59 \cdot 0,03015} = 89,17 \text{ [} ^\circ\text{C]}$$

Jelikož jsou rozdíly teplot zanedbatelné, může být výpočet ukončen.

### 4.2.3 Tepelný výkon sekce II

**Nucený oběh**

$$Q = q \cdot l \text{ [W]}$$

$$Q_{(n)} = q_{2(n)} \cdot l = 94,22 \cdot 525 = 49,47 \text{ [kW]}$$

(13)

**Přirozený oběh**

$$Q_{(p)} = q_{2(p)} \cdot l = 90,21 \cdot 525 = 47,36 \text{ [kW]}$$

#### 4.2.4 Výška hladiny

$$h = \frac{V}{S} \quad [m] \quad (14)$$

$$S_{pod} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{20^2}{4} = 314,16 \quad [m^2]$$

$$h = \frac{V}{S_{pod}} = \frac{2800}{314,16} = 8,91 = 9 \quad [m]$$

### 4.3 Návrh izolace

#### 4.3.1 Tepelná vodivost

Volím minerální vlnu a teplotu stěny  $t_{(-10)} = -10 \quad [^{\circ}\text{C}]$

**Střední teplota stěny**

$$t_{(42,5)} = \frac{t_{(75)} - t_{(-10)}}{2} = \frac{75 + 10}{2} = 42,5 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\lambda_{iz} = 0,04 + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot t \quad [\text{W} / \text{m} \cdot \text{K}] \quad (15)$$

$$\lambda_{iz} = 0,04 + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot t_{(42,5)} = 0,04 + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 42,5 = 0,046 \quad [\text{W} / \text{m} \cdot \text{K}]$$

Výpočetní vztah byl převzat z literatury [7]

#### 4.3.2 Měrný tepelný tok

$$q = \alpha \cdot \Delta t \quad [\text{W} / \text{m}] \quad (12.3)$$

$$q = \alpha_p \cdot \Delta t_2 = 10 \cdot (-10 + 15) = 50 \quad [\text{W} / \text{m}]$$

Součinitele přestupu tepla  $\alpha_p \quad [\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}]$  byly převzaty z literatury [8]

#### 4.3.3 Výpočet tloušťky izolace

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W} / \text{m}] \quad (12.4)$$

$$l_{iz} = \lambda_{iz} \cdot \left[ \left( \frac{t_{(75)} - t_{(-10)}}{q} \right) - \frac{1}{\alpha_{2(t,o)}} - \frac{l_{pl}}{\lambda_{pl}} - \frac{1}{\alpha_p} \right] \quad [m] \quad (12.5)$$

$$l_{iz} = \lambda_{iz} \cdot \left[ \left( \frac{t_{(75)} - t_{(-10)}}{q} \right) - \frac{1}{\alpha_{2(t,o)}} - \frac{l_{pl}}{\lambda_{pl}} - \frac{1}{\alpha_p} \right]$$

$$= 0,046 \cdot \left[ \left( \frac{75 + 10}{50} \right) - \frac{1}{33,59} - \frac{0,012}{57} - \frac{1}{10} \right] = 0,077 \text{ [m]}$$

Zvolil jsem tloušťku izolace 0,01 [m]

Kde:

$l_{iz}$  → tloušťka izolace [m]

$l_{pl}$  → tloušťka pláště nádrže [m]

$\lambda_{iz}$  → součinitel tepelné vodivosti pláště nádrže [W / m . K]

## 4.4 Výpočet ploch a obsahů nádrže a jejich tepelných ztrát

### 4.4.1 Plocha podlahy Spod a její tepelná ztráta Qpod

$$S_{pod} = \pi \cdot \frac{D_n^2}{4} \text{ [m}^2\text{]} \quad (16)$$

$$S_{pod} = \pi \cdot \frac{D_n^2}{4} = \pi \cdot \frac{20^2}{4} = 314,16 \text{ [m}^2\text{]}$$

#### Výpočet q podlahy

Viz. kapitola 4.3.3, vztah 12.4

$$q_{pod} = \frac{t_{(75)} - t_{(5)}}{\frac{1}{\alpha_{2(t,o)}} + \frac{l_{pod}}{\lambda_{pod}} + \frac{1}{\alpha_{pod}}} = \frac{(75 - 5)}{\frac{1}{33,59} + \frac{0,045}{1,57} + \frac{1}{0,9}} = 59,29 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Přičemž:

$l_{pod}$  → tloušťka podlahy [m]

$\lambda_{pod}$  → součinitel tepelné vodivosti podlahy (beton) [W / m . K], viz literatura [4]

$\alpha_{pod}$  → součinitel přestupu tepla mezi uhlovodíky v nádrži a terénem [W / m<sup>2</sup> . K], viz literatura [8]

$t_{(5)}$  → teplota zeminy pod nádrží kapalných uhlovodíků [°C] , viz literatura [8]

#### Tepelná ztráta plochou Spod

$$Q_{pod} = q_{pod} \cdot S_{pod} = 59,29 \cdot 314,16 = 18,63 \text{ [kW]}$$



#### 4.4.2 Obsah pláště $S_{pl}$ a jeho tepelná ztráta $Q_{pl}$

$$S_{pl} = O \cdot h \quad [m^2] \quad (17.1)$$

$$S_{pl} = \pi \cdot D_n \cdot h \quad [m^2] \quad (17.2)$$

$$S_{pl} = \pi \cdot 20 \cdot 9 = 565,48 \quad [m^2]$$

**Tepelná ztráta plochou pláště  $S_{pl}$**

$$Q_{pl} = q \cdot S_{pl} = 50 \cdot 565,48 = 28,27 \quad [kW]$$

#### 4.4.3 Plocha střechy $S_{str}$ a její tepelná ztráta $Q_{str}$

$$S_{str} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D \cdot h \quad [m^2] \quad (18)$$

$$S_{str} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D_n \cdot h_{str} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 20 \cdot 3,15 = 98,96 \quad [m^2]$$

Příčemž:

$$h_{str} = 3,15 \quad [m] \rightarrow \text{výška střechy}$$

$$Q_{str} = q \cdot S_{str} = 50 \cdot 98,96 = 4,95 \quad [kW]$$

#### 4.4.4 Tepelná ztráta nádrže kapalných uhlovodíků

$$Q_z = Q_{pl} + Q_{pod} + Q_{str} = 28,27 + 18,63 + 4,95 = 51,85 \quad [kW]$$

## 4.5 Teplo na ohřev 250 m<sup>3</sup> kapalných uhlovodíků denně a celkový výkon pro nádrž kapalných uhlovodíků

$$q = c_p \cdot (t_1 - t_2) \quad [\text{kJ} / \text{kg}] \quad (12.6)$$

$$q_{00} = c_{p(75)o} \cdot (t_{(75)} - t_{(50)}) = 1,889 \cdot (75-50) = 47,225 \quad [\text{kJ} / \text{kg}]$$

Fyzikální veličiny pro středně sirnatý olej typu M při teplotě 75 [°C].

$$\rho_{(75)} = 856 \quad [\text{kg} / \text{m}^3]$$

$$c_{p(75)o} = 1,889 \quad [\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}] \quad \text{Viz literatura [6]}$$

### 4.5.1 Hmotnostní tok oleje a potřebné množství tepla na ohřev oleje

$$Q_m = \rho \cdot \dot{V} \quad [\text{t} / \text{den}] \quad (19)$$

$$Q_m = \rho_{(75)} \cdot \dot{V} = 856 \cdot 250 = 214 \quad [\text{t} / \text{den}]$$

$$Q_{ol} = \rho \cdot \dot{V} = 47,225 \cdot \frac{214 \cdot 000}{24 \cdot 3600} = 116,97 \quad [\text{kJ} / \text{s} = \text{kW}]$$

### 4.5.2 Celkový výkon nádrže kapalných uhlovodíků

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad [\text{kW}] \quad (20)$$

$$Q = Q_z + Q_{ol} = 51,85 + 116,97 = 168,82 \quad [\text{kW}]$$

### 4.5.3 Počet sekcí

$$n = \frac{Q}{Q_p} \quad [\text{počet}] \quad (21)$$

$Q_p$  = teplo jedné sekce

**Nucený oběh**

$$n = \frac{Q}{Q_{(n)}} = \frac{168,82}{49,47} = 4$$

### Přirozený oběh

$$n = \frac{Q}{Q_{(p)}} = \frac{168,82}{47,36} = 4$$

## 4.6 Množství vody a množství páry

### 4.6.1 Množství vody

$$\dot{m}_v = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta t} [kg/s] \quad (22)$$

$$\dot{m}_v = \frac{Q}{c_{p(75)} \cdot (t_{(110)} - t_{(80)})} = \frac{168,82}{4,214 \cdot (110 - 80)} = 1,34 [kg/s]$$

### 4.6.2 Množství páry

#### Parametry rozvodu páry:

$$\text{Teplota} \rightarrow t_{(147)} = 147 [^{\circ}\text{C}]$$

$$\text{Tlak} \rightarrow p_{(0,45)} = 0,45 [\text{MPa}]$$

$$\dot{m}_v = \frac{Q}{(i'' - i')} = \frac{168\,820}{(2\,738\,800 - 606\,280)} = 0,079 [kg/s] \quad (23)$$

$$\eta = 0,9 \rightarrow \dot{m}_p = 0,1 [kg/s]$$

Entalpie převzaty z literatury [7].

## 5. VÝMĚNÍKY TEPLA

### 5.1 Rozdělení podle konstrukce

#### 5.1.1 Trubkové (kotlové) výměníky tepla

Nejčastějším typem výměníků jsou právě výměníky trubkové. Jejich použitelnost je různorodá jak pro kapaliny, tak i pro plyny (včetně fázových změn). Provedení trubkového výměníku je možno jako souprroud nebo protiproud či křížení proudů. Směr toku kapaliny mezitrubkového prostoru ovlivňuje provedení trubkového výměníku. Mezitrubkový

prostor je možno rozdělit příčnými a podélnými přepážkami. Zvýšit součinitel prostupu tepla lze provést po úpravě povrchu trubky. Úpravu lze provést zkroucenými pásky ve formě vložek nebo žebrováním.

Konstrukce trubkových výměníků mohou být dvojího provedení:

Výměníky s U trubkami

Výměníky s plovoucí trubkovnicí

### **5.1.2 Výměníky typu trubka v trubce**

Skladba výměníku typu trubka v trubce se provádí ve složení vnitřní a plášťové trubky. Spojení plášťové trubky k trubce vnitřní obvykle provádíme přivařením nebo propojujeme přírubou. Výhody tohoto typu výměníku jsou především v malé teplotní ploše, jsou finančně nenáročné a jednoduché konstrukce a mohou se užívat při použití znečištěného média. Znečištěné médium však musí proudit trubkami, neboť je možné pouze čištění trubek. Naopak skrze plášťový prostor prochází čisté médium.

Skladba hlavních částí výměníku:

1 – vnitřní trubka

2 – plášťová trubka

3 – plášťové hrdlo

4 – patka teplotních dilatací trubkového svazku a pláště

### **5.1.3 Deskové výměníky tepla**

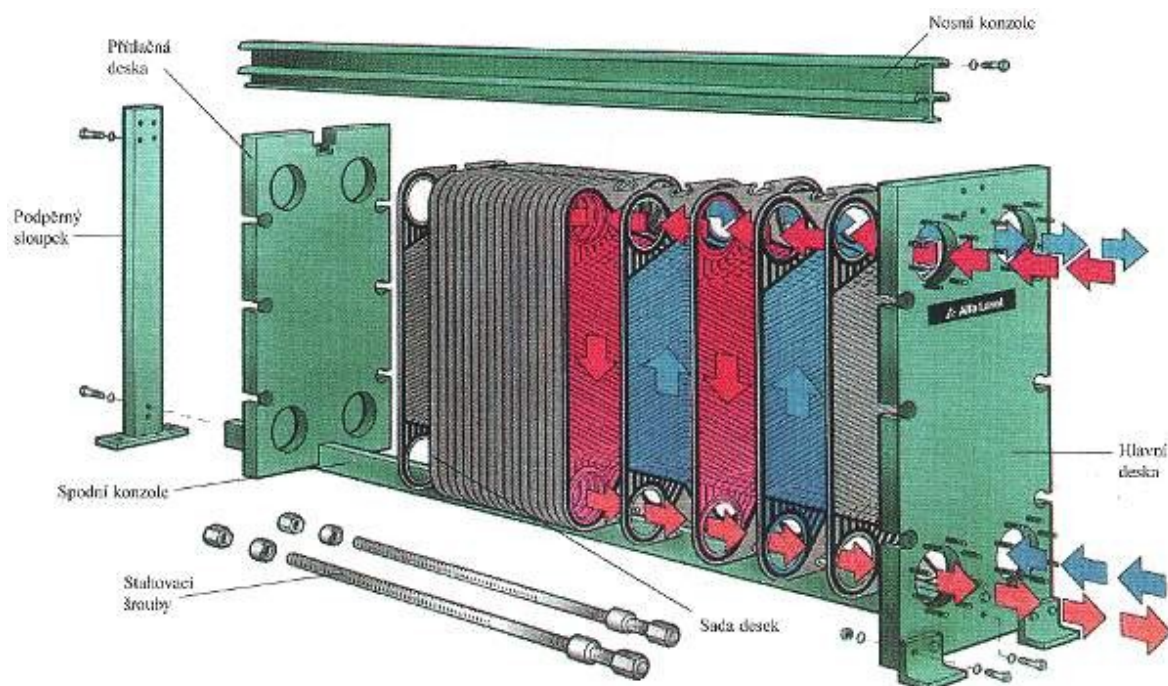
Složení deskového výměníku je provedeno sadou desek řazených za sebou. Tyto desky tak vytváří utěsněný mezideskový prostor. Utěsnění je provedeno vzájemným pájením desek nebo vložením těsnění mezi dvě desky, mezi kterými tak vzniká prostor pro volný průtok média primárního či sekundárního. Mezideskový prostor nám tedy vytváří vlastní systém kanálů. Pro dosažení efektivního přenosu tepla se každá jedna teplotní deska prolisuje, čímž se současně sníží možné zanesení výměníku. Parametry teplotních desek určují fyzikální vlastnosti tekutin, tlakové ztráty, teploty a průtokové množství.

Deskové výměníky podle typu spojení:

- Montované (rozebíratelné)
- Letované (pájené)
- Svařované
- Polosvařované

### 5.1.3.1 Deskové výměníky tepla montované (rozebíratelné)

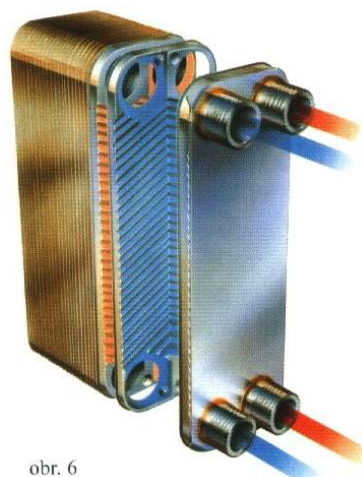
Tyto výměníky jsou rozebíratelné, čili jednotlivé desky, včetně desek přitlačných, jsou spojeny šrouby a navzájem utěsněny těsněním. Těsnění se postará o bezpečný průtok kanály. Výhody tohoto druhu výměníku je především jeho rozebíratelnost, ale také snadná údržba. Dalším pozitivem se stává možnost přizpůsobit jej různým výkonům. Limity pro zvyšování výkonu je teplota médií a pracovní tlak. Proto je nutno brát zřetel na kvalitu těsnění a celkovou pevnost rámu výměníku. Viz Obr. 5.1.



Obr. 5.1 Skladba rozebíratelného deskového výměníku tepla [14]

### 5.1.3.2 Deskové výměníky letované (pájené)

Každá sudá deska deskového výměníku souměrné roviny je otočena o 180 °. Otočení nám zvyšuje kompaktnost těchto výměníků, tlakovou a teplotní odolnost. Jednotlivé desky výměníku spojujeme měděným pájením. Viz. Obr. 5.2.



obr. 6

*Obr. 5.2: Skladba deskového pájeného výměníku [14]*

### **5.1.3.3 Deskové výměníky celosvařované**

Konstrukční řešení rámu je provedeno podobně jako u rozebíratelných deskových výměníků. Celosvařované výměníky stahujeme do svazků. Funkce těchto svazků je především těsnící.

### **5.1.3.4 Deskové výměníky s polosvařovanými deskami**

Tyto výměníky navrhujeme na účinky agresivních a těkavých látek. Pro použití těchto látek se jeví konstrukce polosvařovaných desek jako nejlepší. Obvodové sváry pro spojení dvojice desek jsou prováděny laserem. Laserový svár zaručuje, že proudění agresivní nebo těkavé látky v deskové kazetě se bude dostávat do styku s těsněním jen v místě otvorů svařených párů desek. Složení tohoto typů výměníků střídá klasické těsnění s polosvařovanou kazetou.

### **5.1.3.5 Deskové výměníky tepla s grafitovými deskami**

Uplatnění grafitových desek se využívá při použití korozivního teploměrného média. Desky výměníku se vyrábějí složením dvou materiálů – fluoroplastu a grafitu. Vzniklý produkt se dále lisuje na tenkou vlnitou desku. Těsnění těchto desek provádíme těsněním z korozivního materiálu, které je tenké a ploché.

### **Další možné dělení deskových výměníků:**

Dle průtokového charakteru látek je dělíme na:

- Souproudé
- Protiproudé
- Smíšené

V praxi jsou využívanější deskové výměníky protiproudé nebo smíšené. Tyto typy výměníků jsou efektivnější, než výměníky souproudé. Nejvyužívanějším typem jsou jednocestné výměníky. Vícecestné využíváme tehdy, je-li malý teplotní rozdíl médií, popřípadě musíme-li jej plně využít.

## **6. VÝPOČET DESKOVÝCH VÝMĚNÍKŮ TEPLA**

Výpočty můžeme rozdělit na dvě části: tepelnou část a část hydraulickou. Nejdříve se však v deskových výměnících budu zabírat základními způsoby sdílení.

### **6.1 Sdílení tepla**

Obecně označujeme sdílení tepla jako přenos energie z oblasti s vyšší teplotou do oblasti s teplotou nižší [3].

Rozlišujeme tři základní situace při sdílení tepla[3]:

#### **1) Sdílení tepla vedením**

Souvislost sdíleného tepla vedením (kondukcí) určuje kmitavý pohyb molekul a pohyb volných elektronů. Přenos tepla vedením je charakteristický především u tuhých látek. Může však probíhat i u kapalin či plynů, budou-li v dokonalém klidu.

#### **2) Sdílení tepla prouděním**

Sdílení tepla prouděním, nebo-li též konvekcí může být uskutečněn pouze u proudícího prostředí. V takovém prostředí proudící tekutina předává nebo odebírá teplo z povrchu tělesa.

### 3) Sdílení tepla zářením

Teplo zářením (sáláním) je sdíleno pomocí elektromagnetického vlnění. Elektromagnetické vlnění je přeměnou tepelné energie sálajícího tělesa, které se při dopadu na druhé těleso opět mění v tepelnou energii.

## 6.1.1 Sdílení tepla vedením

Fourierův zákon nám popisuje, jak se vedené teplo u pevné či tekuté fáze bez proudění šíří. Dá se říci, že zákon udává přímou úměrnost hustoty tepelného toku a gradientu teplot, popsaných ve všech 3 směrech souřadnic[3].

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t = -\lambda \cdot \left( \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial t}{\partial z} \right) \quad [W/m^2] \quad (24.1)$$

**U jednorozměrného případu:**

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } \frac{\partial t}{\partial x} \quad [W/m^2] \quad (24.2)$$

**Po integraci**

$$q = -\frac{\lambda}{l} \cdot (t_1 - t_2) \quad [W/m^2] \quad (24.3)$$

## 6.1.2 Sdílení tepla prouděním

Sdílení tepla prouděním nebo-li konvekcí nám popisuje Newtonův zákon. Sdílení tepla se uskutečňuje vzájemně mezi prostředím proudícího média a povrchu pevného tělesa, za předpokladu odlišných teplot.

Součinitel přestupu tepla  $\alpha_p$   $[W/m^2 \cdot K]$

Součinitel  $\alpha_p$  nám udává tepelný tok vztahující se k jednotce intenzity plochy  $1 \text{ m}^2$ , tedy míru intenzity přenosu tepla. Jednotkový teplotní rozdíl je roven  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tento součinitel je poměrně složitá funkce materiálových vlastností tekutiny, včetně jejich stavových veličin a proudových parametrů.

Sdílení tepla prouděním můžeme rozdělit podle sil, které způsobují proudění. A to na volnou a nucenou konvekci [3].

**Volná konvekce** – vzniká na základě nerovnoměrného rozdělení hmotnostních sil v tekutině. Nejtypičtější volnou konvekci je přirozené proudění, jež je vyvoláno působícím gravitačním polem na nerovnoměrně prohřáté tekutině.



**Nucená konvekce** – vzniká na základě povrchových sil (tlakových a třecích). Vyvolávacím impulsem může být čerpadlo, ventilátor, pohyb tuhého tělesa atd.

### 6.1.3 Sdílení tepla zářením

Tento přenos tepla je uskutečněn pomocí elektromagnetického děje. Energie vyzářená tělesy prudce roste s jejich teplotou v důsledku tepelného stavu těles.

**Stefan – Boltzmannův zákon intenzity vyzařování**

$$E = \varepsilon \cdot \delta \cdot T^4 \quad [W/m^2] \quad (25)$$

Kde:

- $\varepsilon$  - emisní součinitel [I]
- $\delta$  - Stefan Boltzmannova konstanta [ $W / m^2 \cdot K^4$ ]
- $T$  - teplota povrchu [K]

## 6.2 Tepelný výpočet

V případě navrhování či u kontrolních přepočtů deskových výměníků musíme provádět konkrétní tepelné výpočty, které nám určují – tepelný výkon, součinitel přestupu tepla konvekcí, teplotní spád, teplotu stěny, atd.

**Rovnice tepelné bilance:**

$$Q_p - Q_o \pm Q_z = 0$$

Kde:

- $Q_p$  - teplo přivedené látkami [W]
- $Q_o$  - teplo odvedené látkami [W]
- $Q_z$  - tepelné ztráty /zisky výměníku vůči okolí [W]

**$Q_{pr}$  [W] je předané teplo, které je rovno přírůstku entalpie I [J]**

$$Q_{pr} = I_2 - I_1 = \Delta I \quad [J] \quad (26)$$

**Pro tepelný tok platí:**

$$dP = \frac{dQ}{d\tau} \quad [W] \quad (27.1)$$

**U hmotnostního průtoku  $Q_m$  [kg / s] je tepelný tok roven:**

$$P = \dot{m} \cdot (i_2 - i_1) \quad [W] \quad (27.2)$$

Kde:

$Q_m$  - hmotnostní průtok teploměrné látky [kg / s]

$i_1, i_2$  - měrná entalpie teploměrné látky na vstupu a výstupu [J / kg]

**Pro výměník bude platit**

$$P = Q_{m1} \cdot (i_{1,1} - i_{1,2}) = Q_{m2} \cdot (i_{2,2} - i_{2,1}) \quad [W] \quad (27.3)$$

**Vyjádření entalpie závislé na teplotě**

$$\Delta i = \bar{c}_p \cdot \Delta t \quad [J/kg] \quad (28)$$

**Pro tepelný tok platí:**

$$P = Q_{m1} \cdot \Delta i = Q_{m2} \cdot \Delta i \quad [W] \quad (27.4)$$

Kde:

$c_p$  - střední měrná tepelná kapacita teploměrné látky [J / kg . K]

$K$  - výkonová kapacita teplotnosné látky [W / K]

$$K = Q_m \cdot \bar{c}_p \quad [W/K] \quad (29)$$

$$P = K_1 \cdot (t_{1,1} - t_{1,2}) = K_2 \cdot (t_{2,2} - t_{2,1}) \quad [W] \quad (27.5)$$

## 6.3 Hydraulický výpočet

Hydraulické odpory jsou následkem viskozity při proudění reálných tekutin. Hromadně je nazýváme tlakovými ztráty. Tyto síly jsou působící ve směru proti pohybu částic tekutiny. Hydraulické odpory vznikají při proudění tekutiny nebo tekutin, přičemž dochází ke vzájemnému tření částic. Také může docházet ke tření o stěny zařízení. Dělení ztrát podle fyzikální podstaty:

- Ztráty třením – vznikají při proudění viskózní tekutiny třecí se o stěny prostoru, který obtéká
- Místní ztráty

$$\Delta p_z = \Delta p_{z,tr} + \Delta p_{z,mo} \quad [Pa] \quad (30)$$

Kde:

- $\Delta p_z$  - celková tlaková ztráta [Pa]
- $\Delta p_{z,tr}$  - tlaková ztráta třením [Pa]
- $\Delta p_{z,mo}$  - tlaková ztráta místními odpory [Pa]

Tlaková ztráta třením  $\Delta p_{z,tr}$  – závisí na:

- vnitřním průměru kanálu  $d_h$  [m]
- rychlosti proudění tekutiny  $W$  [m /s]
- délce kanálu  $l$  [m]
- kinematické viskozitě  $\nu$  [m<sup>2</sup> / s]
- hustotě  $\rho$  [kg / m<sup>3</sup>]

$$\Delta p_{z,tr} = f(d_h, W, l, \nu, \rho) \quad [Pa] \quad (31.1)$$

$$\Delta p_{z,tr} = \lambda \cdot \frac{l \cdot w^2 \cdot \rho}{d_h \cdot 2} \quad [Pa] \quad (31.2)$$

Kde:

- $\lambda$  [1] - součinitel tření
- $\nu$  [m<sup>2</sup> / s] - kinematické viskozitě
- $w$  [m /s] - průměrná rychlost proudění
- $d_h$  [m] - hydraulický průměr kanálu
- $l$  [m] - délka kanálu

$$\lambda = \frac{64}{Re} [1] \quad (32)$$

V případě nerovnoměrného rychlostního profilu způsobeného místními odpory, místní ztráty se zvětší o 10 – 30% a platí vztah:

$$\lambda = \frac{B}{64} \quad [1] \quad (33)$$

Kde:

B je rovno 70 – 80 a následně dojde ke snížení hodnoty Re ze 2 300 na 1 600. Laminární vrstva přejde k vrstvě turbulentní s laminární podvrstvou.

V případě velkého zakřivení potrubí může být B rovno až 155.

U turbulentního potrubí je roven součinitel tření u hydraulicky hladkého potrubí:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad [1] \quad (34)$$

Vztah platí pro  $Re = 4 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^5$

U většího rozsahu Reynoldsova čísla  $2\,300 \rightarrow 1,5 \cdot 10^6$

$$\lambda = 0,0032 + 0,221 \cdot Re^{-0,273} \quad [1] \quad (35)$$

$$\Delta p_{z,mo} = \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \quad [Pa] \quad (36)$$

Kde:

$\xi$  [1] - součinitel místních odporů

## 7. DESKOVÝ VÝMĚNÍK TEPLA

S pomocí literatury [10] a [11] jsem provedl návrh deskového výměníku tepla. Navrhnut deskový výměník ST12 24 1/1 NCT01.

Jde o rozebíratelný deskový výměník, teploměrné desky jsou vyrobeny z nerezavějící oceli AISI 316L. Opláštění je vyhotoveno z konstrukční oceli s provedením ochranného nátěru RAL 7001. Přírubové připojení DIN 2656 armatur DN 50.

*Tab. 7.1: Vstupní parametry výměníku – médium 1*

MÉDIUM 1	Pára hrdla – R4, R3		
Provozní tlak	[bar]	6	
Hmotnostní tok	[kg /s]	0,393	
Teplota na vstupu (hrdlo R4)	[°C]	147	Připojení DN 50 (dle DIN 2656)
Teplota na výstupu (hrdlo R3)	[°C]	120	

*Tab. 7.2: Vstupní parametry výměníku – médium 2*

MÉDIUM 2	Pára hrdla – R1, R2		
Provozní tlak	[bar]	6	
Hmotnostní tok	[kg /s]	0,322	
Teplota na vstupu (hrdlo R2)	[°C]	80	Připojení DN 50 (dle DIN 2656)
Teplota na výstupu (hrdlo R1)	[°C]	110	

Charakteristické hodnoty vstupních parametrů jsou převzaty od výrobce.

*Tab. 7.3: Charakteristické hodnoty vstupních parametrů*

Počet desek	[kusy]	24
Součinitel prostupu tepla	[W / m <sup>2</sup> . K]	2 758
Nusseltovo kritérium	[1]	2,859 – 3,25
Součinitel přestupu tepla	[W / m <sup>2</sup> . K]	7 985 – 6 251

## 8. TRUBKOVÝ VÝMĚNÍK TEPLA

### 8.1 Nusseltovo kritérium

$$Nu = \left[ 0,3 + \sqrt{Nu_{lam}^2 + Nu_{tur}^2} \right] \cdot y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 \cdot y_4 \quad (37)$$
$$Nu = \left[ 0,3 + \sqrt{33,17^2 + 16,18^2} \right] \cdot 1 \cdot 1,68 \cdot 1 = 18,6$$

#### 8.1.1 Reynoldsovo číslo

Viz. Kapitola 3.1.2 vztah 2

$$Re_v = \frac{W_v \cdot l}{v_{(94,73)}} = \frac{0,0164 \cdot 0,0314}{0,311 \cdot 10^{-6}} = 1\,655,82 \quad [1]$$

**Charakteristický rozměr – délka proudnice**

$$l = \frac{\pi \cdot d}{2} \quad [m] \quad (38)$$
$$l = \frac{\pi \cdot d_{1v}}{2} = \frac{\pi \cdot 0,02}{2} = 0,0314 \quad [m]$$

Volíme dle literatury [8]

Vnější Ø potrubí  $\rightarrow d_{1v} = 0,02 \quad [m]$

Rozteč trubek  $\rightarrow t_t = 0,026 \quad [m]$

**Výpočet rychlosti**

$$W_v = \frac{Q_m}{S_2 \cdot \rho \cdot \psi} \quad [m/s] \quad (39)$$
$$W_v = \frac{Q_m}{S_2 \cdot \rho_{(95)} \cdot \psi} = \frac{1,98}{0,317 \cdot 961,885 \cdot 0,3958} = 0,0164 \quad [m/s]$$

**Čistá vnitřní plocha**

$$S_2 = D_1 \cdot (t_p - S_p) \quad [m^2] \quad (40)$$
$$S_2 = D_1 \cdot (t_p - S_p) = 0,384 \cdot (0,417 - 0,03) = 0,137 \quad [m^2]$$

Přičemž platí:

Vnitřní Ø pláště  $\rightarrow D_1 = 384$  [mm]

Vnější Ø pláště  $\rightarrow D_2 = 406$  [mm]

Ø svazku trubek  $\rightarrow D_3 = 370$  [mm]

Rozteč přepážek  $\rightarrow t_p = 417$  [mm]

Tloušťka přepážek  $\rightarrow S_p = 3$  [mm]

### Uspořádání trubek

$$\psi = 1 - \frac{\pi}{4 \cdot x} \quad [1] \quad (41)$$

$$\psi = 1 - \frac{\pi}{4 \cdot x_6} = 1 - \frac{\pi}{4 \cdot 1,3} = 0,3958$$

Úhel uspořádání trubek

$$\alpha = 90^\circ \rightarrow l_1 = l_2 = 1$$

$$t_{t1} = l_1 \cdot t_1 = 1 \cdot 26 \quad [\text{mm}]$$

$$t_{t2} = t_{t1} = 26 \quad [\text{mm}]$$

$$x_6 = \frac{t_{t1}}{d_{1v}} = \frac{26}{20} = 1,3$$

### 8.1.2 Prandtlovo číslo

$$Pr_v = \frac{c_p \cdot \eta}{\lambda} \quad [1] \quad (42)$$

$$Pr_v = \frac{c_{p(95)} \cdot \eta_{(95)}}{\lambda_{(95)}} = \frac{4\,214 \cdot 0,298 \cdot 10^{-3}}{0,68} = 1,85 \quad [1]$$

### Nusseltovo číslo

Laminární oblast

$$Nu_{lam} = 0,664 \cdot \sqrt{Re_v} \cdot \sqrt[3]{Pr} \quad [1] \quad (43)$$

$$Nu_{lam} = 0,664 \cdot \sqrt{Re_v} \cdot \sqrt[3]{Pr_{(95)}} = 0,664 \cdot \sqrt{1\,655,82} \cdot \sqrt[3]{1,85} = 33,17 \quad [1]$$

Turbulentní oblast

$$Nu_{tur} = \frac{0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr}{1 + 2,443 \cdot Re^{-0,1} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} \quad [1] \quad (44)$$

$$Nu_{tur} = \frac{0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_v}{1 + 2,443 \cdot Re_v^{-0,1} \cdot (Pr_v^{2/3} - 1)} = \frac{0,037 \cdot 1\,655,82^{0,8} \cdot 1,85}{1 + 2,443 \cdot 1\,655,82^{-0,1} \cdot (1,85^{2/3} - 1)} \\ = 16,18 \quad [1]$$

## 8.2 Korekční faktory

### 8.2.1 Zohlednění změn látkových vlastností v mezní vrstvě $y_1$

$$y_1 = \left( \frac{Pr}{Pr_v} \right)^a \quad [1] \quad (45)$$

$$y_1 = \left( \frac{Pr_{(95)}}{Pr_v} \right)^a = \left( \frac{1,85}{1,85} \right)^{0,25} = 1 \quad [1]$$

$$a = 0,25 \quad [1]$$

### 8.2.2 Převod součinitele přestupu tepla z řady na svazek trubek $y_2$

Viz. Kapitola 3.1.1, vztah 1

**Střední teplota stěny**

$$t_{(121)} = \frac{t_{(95)} + t_{(147)}}{2} = \frac{95 + 147}{2} = 121 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$y_2 = 1 + \frac{0,7 \cdot \left( \frac{x_7}{x_6} - 0,3 \right)}{\psi^{1,5} \cdot \left( \frac{x_7}{x_6} + 0,7 \right)^2} \quad [1] \quad (46)$$

$$y_2 = 1 + \frac{0,7 \cdot \left( \frac{x_7}{x_6} - 0,3 \right)}{\psi^{1,5} \cdot \left( \frac{x_7}{x_6} + 0,7 \right)^2} = 1 + \frac{0,7 \cdot \left( \frac{1,3}{1,3} - 0,3 \right)}{0,3958^{1,5} \cdot \left( \frac{1,3}{1,3} + 0,7 \right)^2} = 1,68 \quad [1]$$

### 8.2.3 Součinitel zahrnující vliv proudění $y_3$

$$Re > 100$$

$$y_3 = 1$$



### 8.3 Součinitel přestupu tepla trubkového výměníku

Viz. Kapitola 3.1.4, vztah 7

$$\alpha_v = \frac{Nu_v \cdot \lambda_{(95)}}{l} = \frac{18,6 \cdot 0,68}{0,0314} = 402,8 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$$

## 9. MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY

Navrhl jsem ultrazvukový hladinoměr DINEL ULM – 55N – 15. Tento hladinoměr slouží k měření hladiny (bezdotykově) všech kapalin (včetně znečištěných) u otevřených nebo i uzavřených nádob či jímek. Tento kompaktní měřič obsahuje vyhodnocovací elektroniku a elektroakustický měnič.

### 9.1 Princip měření

Nejprve je třeba nastavit hodnotu počátku, tedy nuly a následné zesílení (maximální měřená hladina), provádíme pomocí dvou nastavovacích prvků – trimrů. Hladinoměr začne vysílat díky elektroakustickému měniči ultrazvukové impulzy, šířící se směrem k hladině. Následně vzniklá vlna se odrazí a je zpět přijímána měničem, který vlnu zpracuje pomocí elektrostatického modulu. Čas, po který se vlna šíří (z hladinoměru k hladině a zpět k hladinoměru) se převede na napětí. Dále je provedena teplotní kompenzace a převod na výstupní proud 4 – 20 [mA].

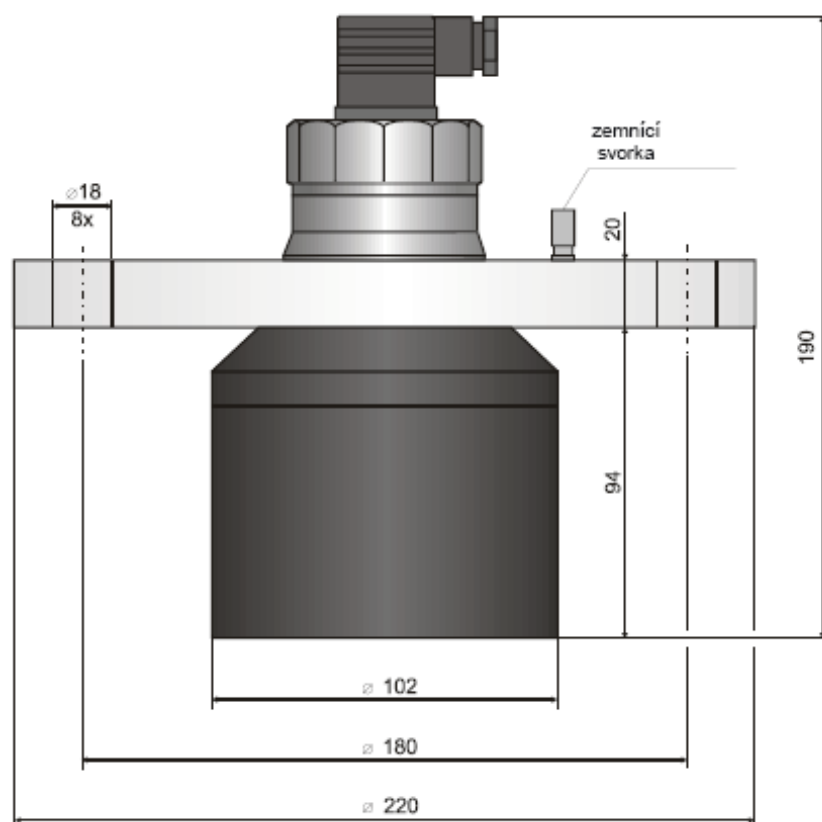


Obr. 9.1: Doporučená instalace hladinoměru, znázornění ultrazvukových hladinoměrů [13]

Základní technické parametry:

Tab. 9.1: Základní technické parametry ULM-55N-20

Typ	ULM – 55N – 20	
Měřicí rozsah (vzdálenost od vyzařované plošky)	0,5 – 20 / 0,5	[m]
Napájecí napětí	16 – 36	[V <sub>DC</sub> ]
Proudový výstup	4 – 20	[mA]
Napěťový výstup	0 - 10	[V]
Přesnost z celkového rozsahu	0,2	[%]
Teplotní chyba (max.)	0,04	[% K]
Vyzařovací úhel (-3dB)	12	[°]
Rozsah pracovních teplot	-30 až +60	[°C]
Krátkodobé teplotní namáhání	90	[°C / 1 hod]
Maximální provozní přetlak	0,1	[MPa]
Krytí		
Hmotnost snímače	2,95	[kg]



Obr. 9.2: Konstrukční provedení ULM-55N-20 [13]

## 10. ZÁVĚR

Sestavení nádrže kapalných uhlovodíků je za pomoci smaltovaných obdélníkových plechů v tloušťce 0,006 [m]. Plechy jsou navzájem spojovány šroubovými spoji a dohromady jako celek tvoří plechy plášť nádrže kapalných uhlovodíků.

Pro ohřev kapalných uhlovodíků v nádrži kapalných uhlovodíků na požadovanou teplotu je zapotřebí 1,48 [kg / s] vody. A k ohřevu vody je zapotřebí pára v množství 0,1 [kg / s]. Napouštěcí kulový kohout se instaluje pouze v jedné sekci a slouží nám k napouštění systému vodou. Regulátor teploty nastavíme na hodnotu 110 [°C]. Na otevírací přetlak 0,3 [MPa] seřídíme pojistné ventily.

Dále byla navržena tepelná izolace minerální vlny tloušťky 0,1 [m], která je plně dostačující pro minimalizace tepelných ztrát, při daných výpočetních podmínkách.

Navržení 4 kusů sekcí topných hadů, je při stanovených podmínkách zcela dostačující. A to jak při nuceném, tak i během přirozeného oběhu. Každá jednotlivá sekce se nadimenzovala pro tepelný výkon cca 48 [kW]. Návrh obsahuje 2 varianty topných kanálů.

Návrh výměníků tepla proběhl ve dvou variantách. Nejprve jako deskový výměník a poté jako výměník trubkový. Jednotlivé sekce mají vlastní výměník tepla.

Nakonec bylo navrženo ultrazvukové čidlo, které snímá výšku hladiny. Toto čidlo je vyrobeno firmou Dinel a jde o typové označení ULM – 55 N – 20. Navržené čidlo je plně dostačující pro daný typ nádrže kapalných uhlovodíků.

## 11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SCHNEIDER, Petr. *Základy konstruování procesních zařízení*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR Real, 1999, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1483-9.
- [2] KŘUPKA, Vlastimil a Petr SCHNEIDER. *Konstrukce aparátů*. Vyd. 1. Brno: PC-DIR, 1998, 290 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1124-4.
- [3] ŠORIN, S. *Sdílení tepla*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1968, 398 s.
- [4] KOLAT, Pavel. *Přenos tepla a hmoty*. 3. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001, 266 s.
- [5] BRAIN, Marshall. How water towers works. *How stuff works* [online]. 2000 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.howstuffworks.com/water.htm>
- [6] HAŠEK, P. *Tabulky pro tepelnou techniku*, 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1980, 247 s.
- [7] KADLEC, Zdeněk. *Termomechanika: návody do cvičení*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 97 s. ISBN 978-80-248-1736-1.
- [8] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [9] ČSN EN 14015. *Specifikace pro navrhování a výrobu nadzemních vertikálních válcových svařovaných ocelových nádrží s plochým dnem, zhotovovaných na místě provozování, určených pro skladování kapalin při teplotě okolí a vyšší*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [10] CENIA, česká informační agentura životního prostředí. *Prezentace na téma skladování a přeprava ropy: Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách při omezování emisí ze skladování* [online]. 2005 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/CENMSFLZ6Z36/\\$FILE/TPSSkladovani\\_ropy\\_prednaska.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFLZ6Z36/$FILE/TPSSkladovani_ropy_prednaska.pdf)
- [11] External floating roof tank. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 2012 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/External\\_floating\\_roof\\_tank#/media/File:External\\_floating\\_roof\\_tank\\_\(double\\_deck\).png](http://en.wikipedia.org/wiki/External_floating_roof_tank#/media/File:External_floating_roof_tank_(double_deck).png)
- [12] BRAIN, Marshall. How water towers works. *How stuff works* [online]. 2000 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://static.ddmcdn.com/gif/water-diagram.gif>

- [13] DINEL. *Měření hladiny průtoků* [online]. 2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://www.dinel.cz/\\_file/AMIfv957SoNR2f804\\_UJGw4nsQFdPTbNmckhXd62jpUUCn6FO0FrK4AP-5kO8uG3tV0C2SWhZmuBpZVIE-WV3l\\_0Ou7beS\\_IvGs\\_6dydurTbkZWW8haG7NT9mGA\\_WqkYwz0hh\\_lFN0ox5hIT9cfvN4rlJgbRQOmJkA/ulm-55-dat-cz.pdf](http://www.dinel.cz/_file/AMIfv957SoNR2f804_UJGw4nsQFdPTbNmckhXd62jpUUCn6FO0FrK4AP-5kO8uG3tV0C2SWhZmuBpZVIE-WV3l_0Ou7beS_IvGs_6dydurTbkZWW8haG7NT9mGA_WqkYwz0hh_lFN0ox5hIT9cfvN4rlJgbRQOmJkA/ulm-55-dat-cz.pdf)
- [14] BCB Plzeň, spol. s.r.o.: ALFA LAVAL. *Výměníky pro přenos tepla* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.bcb-plzen.eu/alfalaval/pajene.htm>

## **12. PŘÍLOHY**

Výkres č. 1 Nádrž kapalných uhlovodíků + trubkový výměník

Datový nosič - CD